

Flächenbezogene Modelle
zur Unterstützung der Forstlichen Standortskartierung
im Niedersächsischen Bergland

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultäten
der Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Rainer Schulz
aus Hameln

Göttingen 2003

D 7

Referent: Prof. Dr. J. Hagedorn

Korreferent: Prof. Dr. Dr. h.c. B. Sloboda

Tag der mündlichen Prüfung: 18.06.2003

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde von Prof. J. Hagedorn, Geographisches Institut der Universität Göttingen, betreut. Für die Beratungen in Fragen der Physischen Geographie, die Beharrlichkeit und die Lenkung des Vorhabens sei zuerst gedankt.

Prof. B. Sloboda, Institut für Forstliche Biometrie und Informatik, flankierte das Vorhaben im Forstwissenschaftlichen Fachbereich. Der Arbeitsplatz an diesem Institut diente nicht nur als Plattform zur Anfertigung der Arbeit, sondern auch als Grundlage der nicht minder wichtigen Finanzierung. Beide sorgten somit auf ihre Weise für das Zustandekommen der Arbeit.

Die Anfänge dieser Arbeit wurden von Forstdirektor H. Wachter als Leiter der Standortskartierung im Niedersächsischen Forstplanungsamt gefördert. Forstdirektor Dr. V. Stüber setzte die Förderung nahtlos fort. Beide standen in der Vergangenheit bei forststandörtlichen Fragen stets beratend zur Seite, wofür gedankt sei.

Desweiteren gebührt Prof. J. Saborowski und Dr. R. Meyer mein Dank für zahlreiche Beratungen in den weiten Feldern der Statistik und EDV.

R. Schulz, Frühjahr 2003

1	EINLEITUNG	1
1.1	Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2	Untersuchungsgebiet	3
1.2.1	Gesamtgebiet.....	3
1.2.2	Validierungsgebiet	5
2	FORSTLICHE STANDORTSKARTIERUNG	7
2.1	Gegenstand, Inhalt, Aufgabe	7
2.2	Kartierungsgeschichte und Kartierungen der Bundesländer	9
2.3	Forstliche Standortskartierung in Niedersachsen	12
2.3.1	Geschichte, Verwaltung, Prinzip des heutigen Verfahrens.....	12
2.3.2	Komponenten des Standorttyps.....	16
2.3.2.1	Substrat / Lagerung	17
2.3.2.2	Wasserhaushalt.....	29
2.3.2.3	Nährstoffversorgung.....	31
2.3.2.4	Varianten	32
2.3.2.5	Aktualisierung des Schätzrahmens.....	32
2.3.3	Vorbereitung, Gelände- und Laborarbeit, Karte und Kartierungswerk.....	33
2.3.4	Abhängigkeiten zwischen Standortmerkmalen	36
2.3.4.1	Wuchsbezirke und Wasserhaushalt	36
2.3.4.2	Substrat / Lagerung und Wasserhaushalt	37
2.3.4.3	Wasserhaushalt / Substrat / Lagerung und Nährstoffversorgung.....	40
2.3.5	Anwendungsbeispiele	41
3	PHYSISCH-GEOGRAPHISCHE KARTEN und FACHINFORMATIONSSYSTEME	44
3.1	Kartenwerke und Vergleich zur Standortstypenkarte.....	44
3.1.1	Bodenkarten und Geologische Karten: DGK5B, BK25, BK50, GK25	44
3.1.2	Geomorphologische und Geoökologische Karten: GMK25, GMK100, GÖK25	47
3.1.3	Kleinmaßstäbige Karten verschiedener Thematik.....	53
3.1.4	Abschließende Einordnung.....	55
3.2	Fachinformationssysteme	56
3.2.1	Projekte der Forstverwaltungen der Bundesländer	56
3.2.2	Projekte im forstlich-universitären Bereich	59
4	RELIEFANALYSE bei KARTIERUNG und MODELLIERUNG	61
4.1	Reliefmerkmale und Reliefklassifikation	61
4.2	Ansätze zum Thema Substrat / Boden.....	62
4.3	Ansätze zum Thema Wasserhaushalt	69
4.4	Ansätze zum Thema „Physisch-Geographische Einheiten“	72
5	DATENBASIS: ERSTELLUNG und MODIFIKATION.....	74
5.1	Forstliche Standortdaten.....	74
5.2	Höhendaten und Reliefdaten.....	75
5.2.1	Produktion und Transformation	75
5.2.2	Aufbau und Modifikation der Höhendatenbasis	78
5.2.3	Geomorphologische Informationslagen: Intention und Umsetzung.....	80
5.2.3.1	Höhe, Neigung- und Neigungsrichtung.....	80
5.2.3.2	Wölbung	81
5.2.3.3	Massenbilanzindex	84
5.2.3.4	Einzugsgebietsgröße.....	85
5.2.3.5	Relative Exponiertheit der näheren Umgebung.....	86
5.2.3.6	Hanglängen: Euklidische Distanzen.....	89

5.2.3.7	Hanglängen: Pfaddistanzen.....	91
5.2.3.8	Hanghöhe und Hanggefälle im Pfadverlauf.....	92
5.2.3.9	Höhendifferenz zur Tiefenlinie.....	93
5.2.3.10	Form - Lage - Indizes.....	93
5.2.3.11	Distanz zu Flächen starker und schwacher Neigung.....	94
5.2.3.12	Compound topographic index und topographic wetness index.....	95
5.2.4	Geländeklimatische Informationslagen: Intention und Umsetzung.....	96
5.2.4.1	Relative Exponiertheit der weiteren Umgebung.....	96
5.2.4.2	Windexponiertheit.....	99
5.2.4.3	Einstrahlung.....	103
5.2.4.4	Niederschlag.....	109
5.3	Geologische Daten.....	109
5.3.1	Informationsgehalt, Auswahl und Modifikation vor dem Hintergrund der Modellierung.....	111
5.3.2	Verfügbarkeit geologischer Daten.....	119
6	MODELLIERUNG: KONZEPTE und METHODEN.....	120
6.1	Konzeption und Lösungsansatz.....	120
6.1.1	Kategorien der Standortkomponenten und Prämissen.....	120
6.1.2	Klassenvorkommen und -größe im Parametrisierungs- und Zielraum.....	120
6.1.3	Zusammenstellung und Aktualisierung einer naturraumbezogenen, ideellen Modellierungsbasis.....	121
6.1.4	Klassenaggregation, Level der Detailliertheit und Mehrstufigkeit des Modells.....	123
6.1.5	Synchrone oder schrittweise Modellierung einzelner Zielklassen einer Aggregationsstufe.....	124
6.1.6	Reihenfolge der Modellierung einzelner Zielklassen innerhalb einer Aggregationsstufe.....	125
6.1.7	Probleme des schrittweisen, mehrstufigen, verschachtelten Verfahrens.....	127
6.1.8	Zusammenfassung zur Chronologie und zum Konzept des Vorgehens.....	128
6.2	Statistischer Ansatz – Diskriminanzanalyse.....	129
6.2.1	Prinzip, Voraussetzungen und Auswahl des Verfahrens.....	129
6.2.2	Kovarianz, Distanzkonzept und Gütemaße.....	132
6.2.3	Aufstellung des Modells, Prinzip der Variablenwahl, Bedeutung der Variablen.....	136
6.2.4	Wahrscheinlichkeitskonzept.....	138
6.2.5	Verfahrensoptionen und Interpretation von Klassifikationsfunktionen.....	138
6.2.6	Anwendungsbeispiele.....	140
6.3	Statistischer Ansatz – Regressionsanalyse.....	141
6.4	Regelbasierter Ansatz.....	142
6.5	Kopplung von GIS und Statistiksoftware.....	142
6.6	Modelltheoretische Einordnung.....	143
7	MODELLIERUNG der STANDORTEINHEITEN.....	145
7.1	Substrate und Lagerungsverhältnisse.....	145
7.1.1	Substratklasse 1, hergeleitet anhand der GK25 und geomorphologischer Variablen.....	147
7.1.1.1	Ansatz 1: Zuordnung und Umsetzung einzelner geologischer Einheiten.....	148
7.1.1.1.1	Zusammenhang geologischer Einheiten mit Substratklasse 1.....	148
7.1.1.1.2	Exkurs: Substratklasse Kolluvien/Alluvien (7).....	151
7.1.1.1.3	Zusammenhang geologischer Einheiten mit Lagerungsklasse 11 - 16.....	152
7.1.1.1.4	Herleitung von Substratklasse 1 und Lagerungsklasse 11 - 16.....	152
7.1.1.1.5	Exkurs: Substrat-1-relevante Einheiten im Bergland.....	154
7.1.1.2	Ansatz 2: Statistische Herleitung der Substratklasse 1.....	155
7.1.1.2.1	Informationslagen der „Anteile Substrat-1-relevanter Gesteine im Einzugsgebiet“.....	155
7.1.1.2.2	Modellaufstellung und Modellergebnis.....	156
7.1.1.3	Ansatz 3: Statistische Herleitung der Lagerungsklassen 11 – 16 nach Profilaufbau.....	157
7.1.1.4	Ansatz 4: Regelbasierte Herleitung der Lagerungsklassen 11 – 16 nach Profilaufbau.....	160

7.1.2	Substratklassen, hergeleitet anhand geomorphologisch-geländeklimatischer Variablen.....	162
7.1.2.1	Ansatz 1: Modell auf ideeller Datenbasis.....	162
7.1.2.2	Ansatz 2: Zielraumspezifische Modellierungsgebiete.....	169
7.1.2.3	Ansatz 3: Modellierungscluster als Modellierungsteilgebiete.....	172
7.1.3	„Unterlagerndes Festgestein“, hergeleitet anhand der Kombination GK25 – FSK10	177
7.1.4	„Unterlagerndes Festgestein“ und „Decke“, hergeleitet anhand von Schichtmerkmalen	182
7.1.4.1	Substrateigenschaften: Kalk- und Basengehalt und Bodenart.....	182
7.1.4.1.1	Grundsätzliches zur Wertung geologischer Einheiten	182
7.1.4.1.2	Einfache oder mehrfache Zuordnung.....	183
7.1.4.1.3	Wertung geologischen Materials in Standortkartierungspraxis und Literatur	185
7.1.4.1.4	Ablehnung einer primär kategorischen Zuordnung	189
7.1.4.1.5	Schritt 1: Graduelle Zuordnung	190
7.1.4.1.6	Schritt 2: Positionsbedingte Gewichtung.....	190
7.1.4.1.7	Schritt 3: Wertung zur Feststellung von Eigenschaften.....	192
7.1.4.1.8	Schritt 4: Abschließende hierarchische Wertung.....	194
7.1.4.1.9	Exkurs: Materialbewegungen im Einzugsgebiet.....	197
7.1.4.1.10	Exkurs: Nebenpetrographie	197
7.1.4.1.11	Zusatzmodul 1: Füllung der Fehlbereiche der GK25.....	198
7.1.4.1.12	Informationslagen der „Intensitäten der Eigenschaften im Einzugsgebiet“	201
7.1.4.1.13	Untypische Konstellationen Decke / Unterlagerndes in der Kartierung	203
7.1.4.1.14	Zusammenfassung Substrateigenschaften.....	203
7.1.4.2	Mächtigkeit des auflagernden Deckenmaterials.....	204
7.1.4.2.1	Vorarbeiten zum Thema Skalenniveau	204
7.1.4.2.2	Ausschluß bestimmter Standorte bzw. Decken.....	205
7.1.4.2.3	Zusammenlegung unterschiedlicher Decken	206
7.1.4.2.4	Deckenmächtigkeit innerhalb Substrat „Festgesteine“ (2456)	206
7.1.4.2.4.1	Ansatz 1: Logistische Regression mit stetigen Variablen	206
7.1.4.2.4.2	Ansatz 2: Logistische Regression mit klassierten Variablen	209
7.1.4.2.4.3	Ansatz 3: Diskriminanzanalyse mit stetigen Variablen.....	209
7.1.4.2.4.4	Ansatz 4: Lineare Regression mit stetigen Variablen	211
7.1.4.2.5	Deckenmächtigkeit innerhalb Substrat „Lösse“ (3).....	213
7.1.4.2.6	Deckenmächtigkeit innerhalb Substrat „Kolluvien/Alluvien“ (7)	218
7.1.4.2.7	Zusammenfassung Deckenmächtigkeit.....	220
7.1.5	Zusammenführung der Einzelergebnisse der Substrat / Lagerungsmodelle	221
7.2	Wasserhaushalt: Geländeform (GFO) innerhalb der Substratbereiche.....	228
7.2.1	Zugehörigkeit der BFG-Klasse 6 zu GFO-Klassen.....	228
7.2.2	GFO innerhalb Substrat „Festgesteine“ (2456).....	229
7.2.3	GFO innerhalb Substrat „Lösse“ (3).....	234
7.2.4	GFO innerhalb Substrat „Kolluvien/Alluvien“ (7)	237
7.2.5	Zusammensetzung der Teilmodelle im Validierungsgebiet	238
7.2.6	Tal-GFO-Klassen innerhalb Substrat 3 und 7 als Alternative.....	240
7.2.7	Exkurs: Streuung modellierter Klassen.....	242
7.2.8	Exkurs: Diskrepanz zwischen Reklassifikations- und Validierungsergebnis	242
7.2.9	Zusatzmodul 2: GFO-Klasse „Rücken“ und „schmales Tal“ basierend auf Strukturinformation.....	243
7.2.10	GFO-Klasse „Stauwasserstandorte“ innerhalb von Hängen und Ebenen	249
7.2.11	GFO-Klasse „Steilhänge“ innerhalb von Hängen.....	256
7.3	Wasserhaushalt: Bodenfeuchtigkeit und Geländeform (BFG) innerhalb der GFO-Bereiche.....	257
7.3.1	Zweiteilung der Hangbereiche hoher und geringer Einstrahlung	258
7.3.2	Stauwasserbeeinflusste BFG innerhalb GFO-Bereich „Ebene“ und „Hang“	260

7.3.3	Terrestrische BFG separater Schatt- und Sonnhänge innerhalb GFO-Bereich „Hang“	266
7.3.4	Terrestrische BFG innerhalb GFO-Bereich „Ebene“	274
7.3.5	BFG innerhalb GFO-Bereich „schmales Tal“	276
7.3.6	BFG innerhalb GFO-Bereich „grundwasserbeeinflusstes Tal“	280
7.3.7	BFG innerhalb GFO-Bereich „Rücken“	286
7.3.8	BFG innerhalb GFO-Bereich „Steilhänge“	288
7.3.9	Zusammenführung der Einzelergebnisse zu Bodenfeuchtigkeit und Geländeform (BFG)	289
7.4	Varianten von „Bodenfeuchtigkeit und Geländeform“ (BFG).....	293
7.5	Nährstoffversorgung	294
7.5.1	Skalenniveau und Methodik	294
7.5.2	Modellumsetzung.....	300
7.6	Abschätzung der Flächenanteile von Zielklassen.....	303
7.7	Visualisierung der Ergebnisse.....	305
7.7.1	Generalisierung und Zusammenführung der Standortkomponenten	305
7.7.2	Herstellung adäquater Polygonform	306
8	ERGEBNISSE und DISKUSSION.....	308
8.1	Modelle	308
8.2	Informationslagen.....	313
8.3	Konsequenzen in Hinblick auf Verbesserung und Anwendung.....	324
8.4	Schlußbewertung.....	327
9	ZUSAMMENFASSUNG.....	328
10	LITERATUR	331
11	ANHANG	

Abbildungsverzeichnis

1: Lage des Untersuchungsgebietes „Bergland“ in der geologisch-tektonischen Übersicht.....	4
2: Organisation der Niedersächsischen Landesforstverwaltung	13
3: Wuchsgebiete, Wuchsbezirke, Modellierungsgebiete und Validierungsgebiet im „Bergland	15
4: Kartierte Nährstoffstufen innerhalb Substratklasse 6 „basenreich“ und 4 „Kalk“	24
5: Querprofil durch ein Stirnhangtälchen des Wesergebirges (Möncheberg).....	26
6: Rekonstruktion der Entwicklung einer Senke im „Taunus Piedmont“ durch Lößklassifikation.....	28
7: Querprofile der Neile unter Angabe der Entfernung des Profils vom Talanfang.	29
8: Konstellation von BFG-Klassen der GFO-Klassen Ebene, Hang und Tal.	30
9: Beispiel für die Lage eines der „besten“ forstlichen Standorte im Niedersächsischen Bergland.	32
10: Profile im FOA Reinhausen, Gen.-Forsten Dramfeld und Klein Schneen, Kartierung 1997.	35
11: Ausschnitt einer Forstlichen Standortstypenkarte im Maßstab 1:10.0000 (FSK10).....	36
12: Lage von Zellen der BFG-Klasse 6 in Relation zur Kartierung.....	75
13: Horizontal-, Vertikal- und „allgemeine“ Wölbung und Neigung.....	84
14: Massenbilanzindex.....	85
15: Informationslagen der Einzugsgebietsgröße (EZG, EZGFW, EZGFFFL).....	86
16: Definition einer kernel-Umgebung	87
17: Exponiertheit der näheren Umgebung (EXPNAH) und Vergleich zur Exponiertheit.....	88
18: Euklidische Distanzen zur Kuppe und Tiefenlinie und relative Lage am Hang.	91
19: Kürzeste Pfadlänge, Höhendifferenz und Gefälle im Pfadverlauf.....	93
20: Form-Lage-Indizes bei normalem und inversem DHM (FLI, FLI-I, FLI-IL).	94
21: Distanz zu Flächen mit starker und schwacher Neigung (SLODIS17, SLODIS9).....	95
22: Compound topographic index und topographic wetness index (CTIF, TWIF).	96
23: Exponiertheit der weiteren Umgebung (EXP2, EXP8, EXP210).....	98
24: Verminderung der Windgeschwindigkeit im Bestand.	100
25: Komponenten der Windexponiertheit.....	102
26: Weglänge der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe.	105
27: Schematischer Bestandesraum und in einer Luftbild-Schrägaufnahme.....	108
28: Einstrahlungsinformationslagen.	109
29: Geologisches Querprofil der Asse südlich von Braunschweig, FOA Elm.	110
30: Lockermaterial-Einschichtigkeit der geologischen Information in GK25-Blättern.....	112
31: GK25-Blätter, Modellierungsdaten und Validierungsdaten.	113
32: Substrat / Lagerung und GK25-Lockersedimenteinheiten im Validierungsgebiet.	117
33: Schema der Modellierung in Zweigen basierend auf Standortkomponenten.	124
34: Konstruktion einer Diskriminanzachse für eine Diskriminanzfunktion.	131
35: Schema des Wechsels von GIS-Arbeiten und Statistik-Prozeduren bei Einsatz der Diskriminanzanalyse.....	143
36: Angenommene Position der Lagerungsklassen 11 bis 16 im idealisierten Relief und Profil	158
37: Modellierte Substrat / Lagerungsklassen der Substratklasse 1, Ansatz 4.....	161
38: Kartierte und modellierte Substratklassen 3 „Lösse“, 7 „Kolluvien“ und „Andere“, Validierungsgebiet.....	168
39: Validierungsgebiet und aus vier Clustern aufgebaute und abgeleitete spezifische Modellierungsteilgebiete	170
40: Werteverteilung in den Substratklassen 3∩7 und „Andere“ (999) in Cluster 3 der Modellierungsdaten.	174
41: Substratklasse Lösse, Kolluvien und Andere, abgeleitet anhand spezifischer Modelle in vier Clustern.....	175

Fortsetzung Abbildungsverzeichnis

42: Abgedeckte GK25- und FSK10-Einheiten in einem Ausschnitt des Rev. Gittelde.....	181
43: Ausgangslage und Ergebnis der Füllung der Fehlbereiche des Festgesteins der GK25.....	200
44: Intensität von Substrateigenschaften im EZG nach mehrfacher Wertung geologischer Einheiten.	201
45: Wahrscheinlichkeit des Auftretens dreier Mächtigkeitsstufen und Ergebnis der logistischen Regression.	208
46: Drei Mächtigkeitsstufen als Ergebnis einer Diskriminanzanalyse.	210
47: Modellierte kontinuierliche und in drei Stufen klassierte Deckenmächtigkeit nach Ansatz 4 (e, f)	212
48: Lößdeckenmächtigkeit über Oberem Muschelkalk in einer Baugrube am Hildesheimer Wald.....	216
49: Mächtigkeit auflagernder Decken basierend auf drei substratbezogenen Modellen im Validierungsgebiet.....	220
50: Teilbereich Rev. Gittelde. Modellierte Lagerungsklassen.....	223
51: Teilbereich Rev. Leisenrode. Modellierte Lagerungsklassen.....	225
52: GFO-Klassen vor und nach Zusammensetzung der Teilmodelle für drei Substratklassen.....	239
53: Strukturdaten (Geripplinien) und Höhendaten des DHM5 (Zellen 12,5x12,5 m) in drei DGK5-Blättern.....	245
54: Analog erstellte Geripplinien in neun DGK5-Blättern im Bereich des Validierungsgebietes.	246
55: Analog erstellte Geripplinien und digital erstellte Vergleichslinien von 48 DGK5-Blättern.....	247
56: Modellierte GFO-Klassen, primäre und verwendete Geripplinien.....	249
57: Trennung kartierter Hangbereiche in die BFG-Gruppenklassen Schatt- und Sonnhänge	260
58: Kartierte und modellierte BFG-Klassen 13, 14, 1721 gegenüber terrestrischen Klassen	263
59: Terrestrische BFG-Klassen der GFO-Klasse Hang in Substrat „Festgestein“ u. „Löß“, Ansatz 1.	270
60: Terrestrische BFG-Klassen der GFO-Klasse Hang in Substrat „Festgestein“ u. „Löß“, Ansatz 3.	273
61: Kartierte und modellierte Tal-BFG-Klassen im Validierungsgebiet	285
62: Kartierte und modellierte Nährstoffstufen innerhalb der BFG-SUBLAG-Kombination 19-23 und 23-23.....	302

Tabellenverzeichnis

1: Standortklassen im Validierungsgebiet: „Bodenfeuchtigkeit und Geländeform“ (BFG), „Geländeform“ (GFO), „Substrat / Lagerung“ (SUBLAG) und „Substrat“ (SUB).	5
2: Komponenten der Niedersächsischen Forstlichen Standortstypenkarte.	16
3: Konstellation der Schichtmerkmale der Substrat / Lagerungsklassen (SUBLAG) nach GÖS 2000.	19
4: Kriterien zur Herleitung der Substrat / Lagerungszahl.	20
5: Ordnung der Bodenfeuchtigkeitsklassen (BFG) nach Frischegrad und Geländeformklasse (GFO).	31
6: Verhältnis erwarteter und kartierter Ausdehnung der Kombination Substrat / Lagerung - Geländeform.	37
7: Harz: Verhältnis erwarteter und kartierter Flächenausdehnung der GFO- und SUBLAG-Klassen.	38
8: Bergland: Verhältnis erwarteter und kartierter Flächenausdehnung der GFO- und SUBLAG-Klassen.	40
9: Standortstypengruppen des Wuchsbezirks Unteres Weserbergland (UW) und Waldbauliche Planung.	43
10: Parallelisierung von Kartenwerken, physisch-geographische Informationen und FSK10.	55
11: Mittlere Windverhältnisse Station Göttingen (1980-1989) in Form eines normierten Gewichtungsfaktors.	101
12: Faktoren zur Einstrahlungsverringerung nach monatlichen Bewölkungsverhältnissen, Station Göttingen.	107
13: Häufigkeit entscheidungsrelevanter Untergrenzen des Quartärs der GK25 und der Decken der FSK10.	116
14: Aggregationsstufen, Betrachtungslevel und Beispielwerte für die Wasserhaushaltskennzahl.	124
15: Verlauf der Festlegung der klassenbezogenen Sicherheit eines Modellierungsschrittes.	126
16: Bodenfeuchtigkeitsklasse 9, 10 und 11 innerhalb Substrat 3, Löss.	127
17: Ordnung von Modellen in Umweltwissenschaft und GIS-Anwendung. Einordnung der Verfahren.	143
18: Konstellation der Schichtmerkmale der Substratklassen und Zusammenfassung der Merkmale zu Gruppen. ...	146
19: Substrat / Lagerungsklassen der Substratklasse 1 „Feinbodenärmste Decken“ im westlichen Harz.	148
20: Verteilung geologischer Einheiten (STRPET12) auf die Lagerungsklasse 11 bis 16 und Substrat „Andere“ ...	149
21: Verhältnis kartierter und erwarteter Kombination dreizehn geologischer Einheiten und Substratklasse 1.	150
22: Schichtbezogene Merkmale der Substrat / Lagerungsklassen 11 bis 16.	157
23: Fehlquoten der Modellierung der Substrate 3, 7 und „Andere“ bei Vorgehen A, B, C und D, Ansatz 1.	164
24: Fehlquoten der Modellierung der Substrate 3, 7 und „Andere“ im Validierungsgebiet.	166
25: Anteile der Cluster im Zielgebiet und clusterbezogen ähnlichem Modellierungsgebiet.	169
26: Variablenwahl zur schrittweisen Trennung der Substratklassen Löss, Kolluvien und Andere (3, 7, 2456) anhand von vier Teilmodellen innerhalb von vier Clustern, Ansatz 3.	173
27: Modellierungsgüte der Substratklassen 3, 7 und „Andere“ im Validierungsgebiet anhand von Teilmodellen innerhalb von vier Clustern, Ansatz 3. A-priori-Einstellung proportional.	174
28: Anteile der Substratklassen je Cluster 1 – 4 (%) und absolute Ausdehnung der Cluster und Substrate (ha).	175
29: Fehlquoten für Substratklasse Kolluvien, Löss und Andere bei Übertragung von drei Ansätzen bzw. Optionen auf das Validierungsgebiet.	176
30: Beispiele anzunehmender Kombinationen des unterlagernden Festgesteins der GK25 (STRPETa) und der FSK10 nach Abdeckung des Lockermaterials bzw. der Decken.	177
31: Umsetzung der FSK10-Klassen Substrat / Lagerung in „unterlagernde“ Substrate (SUBunten).	178
32: Verteilung abgedeckter stratigraphisch-petrograph. Einheiten der GK25 auf abgedeckte FSK10-Substrate. ...	179
33: Mehrfache kategorische Zuordnung geologischer Einheiten zu Substrateigenschaften.	189
34: Primäre graduelle Wertung petrographischer Angaben hinsichtlich Kalkhaltigkeit, Basenreichtum, Tongehalt und Sandgehalt (k, r, t, s). pW ~ primäre Wertung (Schritt 1).	190

Fortsetzung Tabellenverzeichnis

35: Gewichtung eines petrographischen Wertes (^bsp) je nach Kombinationen mit anderen Gesteinen und nach Position in der Reihung bezüglich seiner Bedeutung für das resultierende Substrat (Schritt 2).....	191
36: Wertung petrographischer Kombinationen hinsichtlich Kalkhaltigkeit (k),Basenreichtum (r) und Basenarmut (a), Ton- und Sandhaltigkeit (t, s) (Schritt 3).....	193
37: Hierarchische Festlegung der Eigenschaften geologischen Materials für die Beschreibung der Lagerungskomponente Decke und Unterlagerndes nach Bodenchemie und Bodenart.	194
38: Abschließende hierarchische Wertung substratrelevanter Eigenschaften petrographischer Einheiten.	195
39: Kombination der Informationslage UNT-GK und abgedeckter Substrate der FSK10 (SUB _{unten}).	196
40: Kombinationen der petrographischen Information der 1. und 2. Schicht geologischer Einheiten und ihre Behandlung im Modell.	199
41: Kombination der Informationslage DEC-GK und der Deckeneigenschaften der FSK10.	202
42: Kartierungsrelevante Eigenschaften deckenaufbauender Substrate.	205
43: Teilbereich Rev. Gittelde: Kombination kartierter und modellierter Lagerungsklassen.	222
44: Validierungsgebiet: Kombination kartierter und modellierter Lagerungsklassen.	226
45: Diskriminatorische Gütemaße der Trennung von BFG 6 und ausgewählten GFO-Klassen.	229
46: Schritte und Kennzahlen der Modellierung der GFO-Klassen innerhalb der Festgesteinsbereiche.....	233
47: Vergleichbarkeit von Modellierungsergebnissen im Validierungsgebiet je nach Standortkomponente.....	243
48: Kombination von Strukturdaten (Gerippllinien, primär aus Punkten aufgebaut) und Höhendaten.....	245
49: Stauwasserbeeinflusste Standorte im Modellierungsgebiet.....	251
50: Kombination zweier Lagerungsklassen und stauwasserbeeinflusster BFG-Klassen.....	252
51: Anteil der GFO-Stauwasserklasse an den Substratklassen des Harzes und des Berglandes.	253
52: Mögliche BFG-Stauwasserklassen in GFO- und Neigungsbereichen laut GÖS 2000.....	254
53: Modellierte Substrat- und GFO-Klassen und Ziel-BFG-Klassen (vgl. 61).	257
54: Stauwasserstandorte der Standortkomponente BFG (Modellierungsgebiet). Vereinfacht nach GÖS.....	261
55: Kartierte stauwasserbeeinflusste Standorte im Validierungsgebiet.	263
56: Kartierte BFG-Klassen der Ebenen im Bereich von Substratklassen (ha).	275
57: Kombination kartierter und modellierter BFG-Klassen im Validierungsgebiet.	290
58: Kartierte, umgerechnete und gruppierte Nährstoffkennzahlen.....	294
59: Beispiele der Gruppierung kartierter Nährstoffkennzahlen je Kombination aus BFG und SUBLAG.....	299
60: Gruppierung von Nährstoffkennzahlen ausgewählter Kombinationen aus BFG und SUBLAG.....	301
61: Modelle für Substrat, Lagerung, Geländeform, Bodenfeuchtigkeit und Nährstoffversorgung.....	309
62: Verwendung der Informationslagen in den Modellen für Substrat, Lagerung, Geländeform, Bodenfeuchtigkeit und Nährstoffversorgung.....	314

Abkürzungsverzeichnis

ABDBG	Arbeitskreis für Bodensystematik der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft
AdV	Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik
AK _e	effektive Kationenaustauschkapazität in mmol IA/kg
AKS	Arbeitskreis Forstliche Standortkartierung
ASCC	averaged squared canonical correlation
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BFG	Bodenfeuchtigkeit und Geländeform, nach GÖS
BFG-SUBLAG	BFG kombiniert mit SUBLAG
BIS	Bodeninformationssystem
BS	Basensättigung, in %
BZT	Betriebszieltyp, ~ heute WET
D-	Diskriminanz-
DA	Diskriminanzanalyse
DBG	Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft
DB _I	Datenbasis ideell
DBMS	data base management system
DEC	Decke, über UNT, gehört zu SUBLAG
DGK5 B	Deutsche Grundkarte 1:5.000, Boden
DGM	Digitales Geländemodell
DHM	Digitales Höhenmodell
DHM5 25 50	Maßstabsabhängige DHM 5.000 25.000 50.000
dig	digital, z.B. GK25dig
DLM25	Digitales Landschaftsmodell 1:25.000
EBE	Ebene
EKL	Ertragsklasse von Baumarten
e r	error rate
ESRI	Environmental Systems Research Institute
EZG	Einzugsgebiet, bzw. seine Größe
FIS	Fachinformationssystem bzw. Forstliches Informationssystem
FOA	Forstamt
FSK	Forstliche Standortkartierung
FSK10	Forstliche Standortstypenkarte 1:10.000
FZW	Forschungszentrum Waldökosysteme
Gen.-F.	Genossenschaftsforst
GFO	Geländeform, nach GÖS
GFOSUB	GFO kombiniert mit SUB
GK25	Geologische Karte 1:25.000
GIS	Geographisches Informationssystem
GÖS	Geländeökologischer Schätzrahmen, Version 2000, 1997, 1995
GOF	Geländeoberfläche
GMK25 100	Geomorphologische Karte 1:25.000 100.000
GW	Grundwasser
GRW	Grundwasser
HAN	Hang
HLFWW	Hessische Landesanstalt für Forsteinrichtung, Waldforschung und Waldökologie
IL	Informationslage, auch im Sinn von Variable
KA3, KA4	Kartieranleitung 3, 4
kf	kf-Wert, gesättigte Leitfähigkeit im Boden in dm/d
LGN	Landesamt für Geobasisinformation Niedersachsen, Hannover
LWF	Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft Thüringen
Mb	Austauschbare Basen (AKS 1996:150)
MN	Modellnummer
MOD	Modell
NÄH	Nährstoffkennzahl der STA nach GÖS
NÄHumg	Nährstoffkennzahl, intern umgerechnet, vgl. Literatur EBERL & STÜBER 1998
NDS	Niedersachsen
nFK _{we}	nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum
NFP	Niedersächsisches Forstplanungsamt, Wolfenbüttel
NFV	Niedersächsische Forstliche Versuchsanstalt, Göttingen
NIBIS	Niedersächsisches Bodeninformationssystem
NIFIS	Niedersächsisches Forstliches Informationssystem
NLfB	Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung

NMELF	Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
NRW	Nordrhein-Westfalen
nWSK	nutzbare Wasserspeicherkapazität
PET	Petrographie
PETa	Petrographie, erste Schicht abgedeckt
Rev.	(Forst-)Revier
R ² E	partial R ² entry, im Rahmen einer Diskriminanzanalyse
R ² S	partial R ² stay
RUC	Rücken
S.	Standort(e)
SADO	System zur Analyse und Diskretisierung von Oberflächen
SARA	System zur automatischen Reliefanalyse
SAS	Statistical Analysis System
SSG	Symbolschlüssel Geologie, vgl. Literatur PREUSS et al. 1991
STA	Standortkartierung
STE	Steilhang
STR	Stratigraphie
STRPETa	Stratigraphie und Petrographie kombiniert, erste Schicht abgedeckt
STRPET12	Stratigraphie und Petrographie der ersten u. zweiten geologischen Schicht, kombiniert
STW	Stauwasser
SUBLAG	Substrat / Lagerungsklasse nach GÖS, ~ Lagerungsklasse
TAL	Tal
TIN	triangulated irregular network
TK25 50	Topographische Karte 1:25.000 50.000
UNT	Untererlagerndes, unter DEC, gehört zu SUBLAG
VAL	Validierungsgebiet bzw. -datensatz
WB	Wuchsbezirk, hierarchisch unter Wuchsgebiet
WH	Wasserhaushalt
WET	Waldentwicklungstyp, zuvor ~ BZT
WG	Wuchsgebiet, hierarchisch über Wuchsbezirk
WL	Wilks' Lambda
Z	Zelle, die z.B. als Proband statistischen Modellen zur Verfügung gestellt wird
Z0	Zelle 0 innerhalb eines Rasters, die in einem Berechnungsmoment bearbeitet wird

Hinweise

- 1 Maßstabsangaben beziehen sich auf einen Ausdruck im DIN A4 – Format.
- 2 Äquidistanz der Höhenlinien in Abbildungen ist 20m, ansonsten ist ein konkreter Wert angegeben.
- 3 Synonyme: a Modellierungsgebiet - Parametrisierungsgebiet (-daten)
b Validierungsgebiet - Übertragungsgebiet - Zielgebiet (-daten)
- 4 Für das gleiche GK25-Blatt sind unterschiedliche Autoren von Kartenblatt und Erläuterung möglich, außerdem sind unterschiedliche Veröffentlichungsjahre möglich.
- 5 DGK5-Blätter werden wie folgt kodiert: Bsp.: TK25-Blatt 4324, darin DGK5-Blatt 11 → 432411
- 6 Akzeptierte Modelle tragen die Kürzel MN (Modellnummer), verworfene Modelle sind unnummeriert.

Abbildungen mit Informationen der digitalen GK25

Blatt 4224, 4324, 4027, 4127, 4227. Hg.: NLfB, Hannover.

Darstellung auf der Grundlage von Daten des Niedersächsischen Bodeninformationssystems NIBIS, mit Erlaubnis des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung Hannover.

Verwendete analoge GK25-Blätter bzw. Erläuterungen

4024 Alfeld	Hg.: NLfB, Hannover
4127 Seesen	desgl.
4223 Sievershausen	desgl.
4224 Lauenberg	desgl.
4225 Northeim-West	desgl.
4227 Osterode	desgl.
4322 Karlshafen	Hg.: Geologischer Dienst NRW, Krefeld
4323 Uslar	Hg.: NLfB, Hannover
4324 Hardegsen	desgl.
4525 Reinhausen	desgl.

X

Weitere verwendete analoge Karten

Bodenkarte auf Grundlage der Reichsbodenschätzung 1 : 5.000, DGK5B

Blatt 382016 Exten, Hg.: Katasteramt Rinteln.

Bodenkarte von Niedersachsen 1 : 25.000, Grundlagenkarte, BK25.

Blatt 4526 Gleichen, Hg.: NLFb, Hannover

Geomorphologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1 : 25.000, GMK25

Blatt 7, 3923 Salzhemmendorf

Geomorphologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1 : 100.000, GMK100

Blatt 5, C 4722 Kassel

Hg.: Koordinationskommission des GMK-Schwerpunktprogramms der DFG

Anhang

- Geländeökologischer Schätzrahmen (GÖS 2000) des Niedersächsischen Forstplanungsamtes.
- Karten

Kartenverzeichnis (Anhang)

1a Informationslage EXP210 Exponiertheit weiterer Umgebung (alle: im Validierungsgebiet)

1b Informationslage EXPSUMNAH Exponiertheit näherer Umgebung

1c Informationslage FLI-IL Form-Lage-Index

2a Ableitung aus GK25: Informationslage DEC-S-INT Intensität „Sandgehalt“ im EZG

2b Ableitung aus GK25: Informationslage DEC-T-INT Intensität „Tongehalt“ im EZG

3a Standortkomponente Substrat / Lagerung kartiert

3b Standortkomponente Substrat / Lagerung modelliert

4a Standortkomponente Bodenfeuchtigkeit und Geländeform kartiert

4b Standortkomponente Bodenfeuchtigkeit und Geländeform modelliert

Teil I Einordnung

1 EINLEITUNG

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Die Forstliche Standortskartierung in der Bundesrepublik Deutschland ist eine wichtige Informationsquelle bei forst-, geo- und biowissenschaftlichen Fragestellungen. Zum einen ist die Waldfläche mit einem Drittel der Landesfläche relativ groß und insofern ist die standörtliche Kenntnis für administrative Einrichtungen wie z.B. Landkreise, denen Aufgaben wie Trinkwasserschutz und Biotopschutz obliegen, relevant. Zum anderen befindet sich die Forstwirtschaft in einer Phase, in der die Zusammensetzung der forstlichen Bestände diskutiert wird. Die Ausgestaltung eines Waldumbaus ist aber nur dann sachlich vertretbar, wenn ausreichende Kenntnis über den „Standort“ zur Verfügung steht.

Die letzten Jahrzehnte der Standortskartierung waren durch aufwändige Geländearbeiten geprägt. *„Mapping forest soils using conventional methods is time consuming and expensive“* stellen SKIDMORE et al. (1991:431) unabhängig von bundesdeutschen Verfahren fest.

Geländearbeiten wohnt auch eine gewisse Subjektivität inne. Der Einfluß der Subjektivität bei konventionellen Kartierungen wird für die Bodenkarte 1:25.000 bei SINOWSKI & AUERSWALD (1999:117) beschrieben: *„Tacit knowledge of the soil surveyor governs the delineation of the soil units. This tacit knowledge is non-quantitative, gained by experience and the rationale behind the decisions cannot be stated.“*

Kartierer entwickeln mental und verbal Modelle raumbezogener Vorhersagen, wenn sie das Gelände im Rahmen konventioneller Kartierungen untersuchen (GESSLER et al. 1995:430). Der Einsatz der EDV, hier insbesondere von GIS, kann dadurch, dass er formalisiert ist, zur Verminderung der Subjektivität beitragen. Subjektivität sollte vermieden werden, weil sie leicht zu Heterogenität und Inkonsistenz innerhalb einer Kartierung führt. Davon abgesehen ist es heute sinnvoll, alle digitalen im weitesten Sinn forststandörtlichen Informationen bei einer Kartierung zu nutzen.

In welcher Situation und Phase der Erstellung von Standortstypenkarten kann aber die EDV ein Kartierungsergebnis verbessern oder ergänzen? Im Minimalfall wäre die Modifikation abgeschlossener Kartierungen zu erreichen, der Maximalfall wäre dem gegenüber die ausschließlich digitale Produktion von Standortstypenkarten. In diesem Idealfall könnte eine digitale Klassifikation genügend standörtliche Information bereitstellen und eine Kartierung unnötig machen. Zur Beurteilung einer solchen Klassifikation müßte dann allerdings nicht nur die naturwissenschaftliche Aussage herangezogen werden, sondern auch der Kostenaspekt der Erstellung solcher digitalen Karten im Verhältnis zur konventionellen Kartierung. Wird der Anspruch heruntergeschraubt, so ist eine digitale Klassifikation, wie sie in dieser Arbeit versucht wird, eine „Vorklassifikation“, die dem Kartierer zur Verfügung gestellt wird. Sie entsteht bevor er die eigentliche Kartierung beginnt und dient dann zur Orientierung und als Vorschlag für die Standorteinheiten.

HUBER (1994:11) spricht von einer „Erstellung von Hypothesekarten vor der Felduntersuchung“ ... „basierend auf einer prozessorientierten Analyse des Geoökosystems“ in Hinblick auf die Arbeiten zu einer Geoökologischen Karte.

In Niedersachsen reichen die Arbeiten zu diesem Komplex bis in den Anfang der Achtziger Jahre zurück. Dies wird beispielsweise in einem Geologischen Jahrbuch „Die ADV als Hilfsmittel bei der Aufnahme und Konstruktion geowissenschaftlicher Kartenwerke“ (VINKEN 1983), dokumentiert. Forststandörtliche Arbeiten stellten darin SABELBERG & ROHDENBURG vor, wobei allerdings der Raum zwischen Bodenprofilen mit statistischen Methoden, basierend auf geomorphologischen Variablen, mit Substratklassen zu füllen versucht wurde.

Waldbereiche größerer Ausdehnung sind nicht nur im Tiefland und Bergland Niedersachsens unter verschiedenen standörtlichen Gegebenheiten vorhanden, sondern auch innerhalb des Berglandes: Zumindest können die Räume Harz, Solling und das restliche Bergland (im folgenden „Bergland“) schon allein wegen der hypsometrischen Erstreckung getrennt betrachtet werden, was auch aus der Wuchsbezirksgliederung (OTTO 1991) und der damit korrespondierenden Aufteilung nach der Geographischen Landesaufnahme hervorgeht (HÖVERMANN 1963, SPÖNEMANN 1970). Auch bei SPÖNEMANN 1966 in einer Kartenbeilage im Maßstab 1:200.000 wird durch die Darstellung der Isohypsen und der Gewässer als orohydrographische Karte vor dem Hintergrund von Schichtstufen und Schichtkämmen die großräumige Unterteilung in Tiefland und Harz – Solling – Bergland deutlich. Das Bergland ist das Untersuchungsgebiet der Arbeit. Hier sind einerseits Waldflächen standortkartiert, so dass eine Modellgrundlage existiert und andererseits sind Flächen unkartiert bzw. nur altkartiert, was ein Grund für eine Bearbeitung der Thematik ist.

Ziel ist die Erstellung von Modellen für möglichst viele Kategorien einzelner Komponenten der Forstlichen Standortstypenkarte, die anhand eines Teilraums des Berglandes parametrisiert und auf einen anderen -vergleichbaren- Raum angewendet werden sollen. Als Basis dienen vornehmlich Höhendaten und geologische Daten. Die Verwendung solcher Daten scheint auf der Hand zu liegen, stellt sich aber bei genauerer Betrachtung wegen der forstlichen Standortvielfalt, besonders in Bezug auf die geologischen Daten, als schwierig heraus. Deshalb erfolgt die Herleitung der Modellansätze in den einzelnen Abschnitten recht differenziert. Es ist auszuloten, wie weit eine Standortklassifikation vorangetrieben werden kann. Das Gesamtmodell ist in diesem Sinn so auszurichten, dass es relativ viel Information hervorbringt, auch wenn keine GK25-Information zur Verfügung stehen würde.

Aus der Vielzahl kartierter Werte und deren standörtlicher Hierarchie und aus der vielfältigen Modifizierbarkeit der Datenbasis ergibt sich eine Reihe von Fragen, wovon vier vorausgeschickt werden:

- Wie eignen sich bestimmte Variablen / Variablengruppen zur Klassifikation ?
- Welche Standortkomponenten bzw. welche Klassen lassen sich besser / schlechter modellieren ?
- Wie ist die Information der GK25 einzubringen ?
- Wie funktioniert die Modellmodifikation durch anwenderbezogene optionale Einstellungen ?

Wegen der fehlenden flächenhaften Information zu aktuellen Humuseigenschaften und zum anthropogen beeinflussten Oberbodenzustand beschränkt sich die eigentliche Modellierung auf Standorteigenschaften, die als Stammeigenschaft, nicht als Zustandseigenschaft, beschrieben werden (AKS 1996:301). Es sind dies vor allem der Wasserhaushalt als die eine Standortkomponente und die Lagerung der Substrate bzw. die Substrate selbst als die andere Komponente. Nachgeordnet wird auf die Nährstoffversorgung eingegangen. Indirekt werden dabei auch Zustandsgrößen integriert abgebildet.

Methodisch steht in der Arbeit ein Diskriminanzverfahren im Mittelpunkt. Beispiele für Klassifizierungen mit regelbasierten und regressionsanalytischen Verfahren werden ebenfalls gegeben, sofern es angebracht ist. Im Kontext der Modellaufstellung ist u.a. das Problem der Variablenwahl zu sehen. Damit hängen auch die festzulegenden Klassengrößen in den Parametrisierungsdaten und die Modellannahmen zur relativen Klassengröße zu modellierender Standorteinheiten zusammen.

Die technische Umsetzung wird auf das GIS ARC/Info 8.01 und die Statistik-Software SAS[®] 8.1, beschränkt. Das ermöglicht die Minimierung typischer EDV-bezogener Probleme wie des Datenaustausches an „Schnittstellen“ der Programme und reduziert den Softwarebedarf auf etablierte Produkte.

1.2 Untersuchungsgebiet

1.2.1 Gesamtgebiet

Das Niedersächsische Bergland umfasst etwa den südlich 52°20' gelegenen Teil des Bundeslandes und ist vielgestaltig gegliedert, woraus sich eine Verschachtelung in naturräumliche Einheiten bis in eine siebte hierarchische Stufe ergibt (HÖVERMANN 1963).

Die Lage des Untersuchungsgebietes „Bergland“ im bundesweiten Maßstab kann nach AHNERT (1989) mit Bezug zu LIEDTKE (1984) definiert werden: Es gehört zu den Schichtstufenländern mesozoischer Gesteine; innerhalb derer befindet es sich am nördlichen Rand, im Norden abgeschlossen durch das von pleistozänen Lockergesteinen bestimmte Tiefland.

Eine geologisch-tektonische Übersicht des Bereichs etwa südlich von 52°05' gibt LEPPER (1977:11) in den Erläuterungen zu GK25-Blatt 4323 Uslar. Hier ist die Untergliederung in paläozoischen Harz im Osten, anschließend an das Bergland im Sinn dieser Arbeit und die großen Areale der Trias - Buntsandstein und Muschelkalk in der Mitte- zu erkennen. Im Norden überwiegen der ebenfalls triassische Keuper und Gesteine des Jura und der Kreide.

Unter Betonung der strukturbildenden geologisch-tektonischen Faktoren schreibt SPÖNEMANN (1966:11) „Das Niedersächsische Bergland ist ein kleiner Ausschnitt der Mittelgebirgsschwelle, der nach Westen und Osten nur unvollkommen durch die Weser und den Harz begrenzt werden kann, der nach Süden in das Hessische und Fränkisch-Thüringische Bergland und nach Norden in das Norddeutsche Tiefland übergeht. Dieser Raum hat ein Relief eigener Prägung, gekennzeichnet durch die weite Verbreitung von Strukturformen: von Schichtstufen im südlichen Teil und von Schichtkämmen im nördlichen; eine Grenzlinie beider Teil-Regionen mag etwa von Holzminden entlang dem Nordrand des Solling über Northeim zum Harzrand gezogen werden.“

Eine kartographische Zusammenstellung der linienhaften, strukturbedingten Formen wie der Schichtstufen und -kämme und eine flächige Untergliederung in flache Talböden, Gräben und Becken, höher gelegene, ebene bis mäßig zertalte Flachreliefbereiche und schließlich ein stark zertaltes, stellenweise hügelig bis kuppiges Relief geben BRUNOTTE & GARLEFF (1979:40). Dort werden auch die tertiären, klimabedingten Formungsprozesse (Kappungen, Einebnungen) beschrieben, die das heutige Bild Südniedersachsens ergänzend prägen.

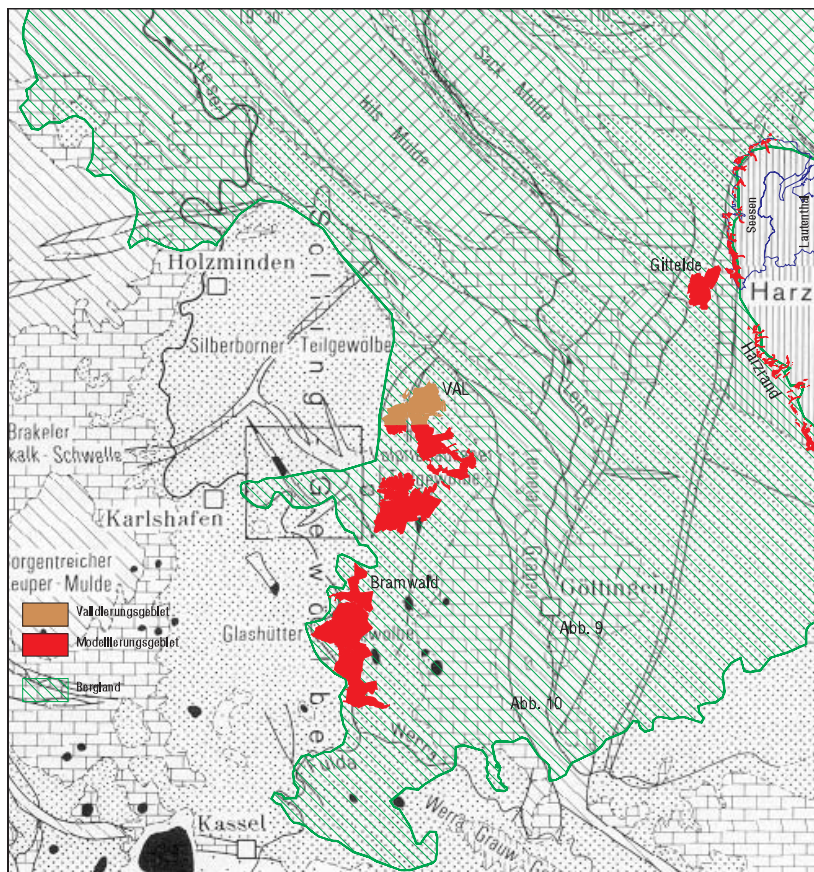


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes „Bergland“ in der geologisch-tektonischen Übersicht. Maßstab 1:750.000. Nach LEPPER (1977:11), Ausschnitt, ergänzt. Quadrat ~ Lage GK25 4323. (Vgl. Abb. 31).

GEHRT (in JORDAN 1994:92) beschreibt in den Erläuterungen zur GK25 4024 Alfeld bodengenetiche Verhältnisse im Bergland: „Direkt an der Oberfläche anstehende Festgesteine haben im Bergland nur sehr geringe Flächenanteile und sind damit für die Bodenverbreitung von geringerer Bedeutung. Die Böden sind in der Regel in lockeren Decken entwickelt, die gesetzmäßige Schichtabfolgen zeigen und in Abhängigkeit von Reliefform und Exposition auftreten. Im Prinzip ist hier zwischen den periglazialen Fließerde- und Lößfolgen und dem spätglazialen bis holozänen Hangschutt zu unterscheiden.“

Nach NLFB (1989:3), dem Erläuterungsheft zur digitalen Bodenkundlichen Standortkarte von Niedersachsen und Bremen 1:200.000, ist das Untersuchungsgebiet „Bergland“ mit der „Submontanen Berglandregion“ innerhalb einer Gliederung in sechs Klima-Landschaftsregionen Niedersachsens gleichzusetzen. Bei GEHRT & SBRESNY (1999:69f) wird das Bergland im Sinn dieser Arbeit der „Bodenregion“ „Bergland“ (ohne Harz, aber einschließlich Solling) zugeordnet. Sie wiederum ist in „Bodengroßlandschaften“, die „Lößbecken“ und „Höhenzüge“ geteilt und wird von dem Leine- und Wesertal (Bodenregion „Flußlandschaften“) gegliedert. 14 % der Landesfläche sind durch das „Bergland“ aufgebaut, 65 % davon durch die „Höhenzüge“. Demnach sind nur etwa 9 % der Landesfläche Höhenzüge des Berglandes, für die man größtenteils Bewaldung annehmen kann. Dieser Raum ist allerdings forstlich von großer Bedeutung und ist der Untersuchungsraum. Die Modellierungsdatenbasis, zusammengesetzt aus kartierten Bereichen verschiedener Forstämter, ist etwa 9.000 ha groß.

Entgegen dieser Definition des Untersuchungsraumes gilt allerdings auch Folgendes: Wenn bestimmte Sachverhalte aufgrund von Datenmangel nicht anhand des Berglandes verdeutlicht werden können, werden selektiv Daten aus dem Raum Solling oder Harz herangezogen, soweit Aussagekraft für die jeweilige Fragestellung besteht.

Das Untersuchungsgebiet ist das Niedersächsische Bergland ohne den Solling im engeren Sinn und ohne den mittelgebirgischen Harz. Damit ist das Höhenwertespektrum des Berglandes bei etwa 450 m gekappt. Insofern war bei der Auswahl des Validierungsgebietes auf die Abdeckung dieser absoluten Höhenlage zu achten: Sie reicht von etwa 270 m im Osten bei Fredelsloh bis etwa 450 m auf dem Schönen-Berg im Westen und ist somit in den oberen 2/3 des Höhenspektrums des Berglandes angesiedelt. Somit ist das Validierungsgebiet geeignet. Es ist nicht sonderlich stark reliefiert, weist aber genügend Variation auf, um die Eignung geomorphologischer Variablen bei der Modellierung von Standortklassen aufzuzeigen.

Die geologische Ausstattung ist der GK25 4224 Lauenberg (HOFRICHTER 1976) zu entnehmen. Es handelt sich hauptsächlich um Gesteine des Mittleren Buntsandsteins (smVW, smV(A), ... smS2, smS3), also der Volpriehausen-, Detfurth-, Hardeggen- und Sollingfolge mit unterschiedlichen Mächtigkeiten von 5-120 m. Im mittleren Bereich des Gebietes befindet sich der N-S verlaufende Grimmerfelder Graben (S. 8) mit 200-600 m Breite, in dem tertiäre Materialien (tmi und tol) größerer Mächtigkeit erhalten geblieben sind und der jetzt von jüngeren Fließerden („fl) oder Auelehm (qh,„Lf) bedeckt ist. Fließerden größerer Mächtigkeit (vgl. 7.1.4.2) existieren westlich des Grabens an zwei und östlich an sieben Lokalisationen, die jeweils etwa eine Ausdehnung von 10-20 ha haben. Am östlichen Saum des Gebietes tritt ein etwa 500 m breites, ebenfalls N-S-verlaufendes Band der sog. Lößdeckfolge auf („Lo).

Die zwischen tonig und grobsandig schwankenden Schichten der weit verbreiteten Hardeggen-Folge des sm werden bei HOFRICHTER (S. 22) beschrieben. Folgen beginnen mit einem grobkörnigen Basalsandstein. „Morphologisch erscheinen die größeren Basalpartien als Stufenbildner.“ Markant ist auch der smS3 im äußersten Osten des Validierungsgebietes herausgebildet, der Karlshafener Bausandstein. Die Bedeutung solcher Einheiten bzw. Materialien für die Modellierung forstlicher Standortklassen wird in Abschnitt 7.1.3 und 7.1.4 diskutiert.

2 FORSTLICHE STANDORTSKARTIERUNG

2.1 Gegenstand, Inhalt, Aufgabe

Das aktuelle maßgebende Werk zur Forstlichen Standortskartierung ist „Forstliche Standortsaufnahme“ des Arbeitskreises Standortskartierung in der Arbeitsgemeinschaft Forsteinrichtung, kurz AKS (1996). Darin heisst es:

„Ziel der forstlichen Standortsaufnahme ist die Erfassung aller für das Waldwachstum wichtigen natürlichen Bedingungen. Ohne ihre Ergebnisse ist eine umweltbewußte und rationelle Bewirtschaftung des Waldes nicht möglich.“ (AKS S. 15).

„Der forstliche Standort umfaßt die Gesamtheit der für das Wachstum der Bäume wichtigen Umweltbedingungen, wie sie im Gelände durch Lage, Klima und Boden -nicht durch den Wettbewerb der Bäume untereinander- bestimmt werden. Zu den Umweltbedingungen, die den Forstlichen Standort ausmachen, zählen nur solche, die in überschaubaren Zeiträumen einigermaßen konstant bleiben oder einem regelmäßigen Wechsel unterworfen sind.

Die primären Umweltbedingungen (äußere Wachstumsfaktoren) wie Wärme, Wasser, Licht, chemische und mechanische Faktoren können im Gelände in der Regel nicht unmittelbar erfaßt werden. Daher bietet sich die mittelbare Erhebung anhand von Standortmerkmalen an; das sind die der direkten Beobachtung zugänglichen Ausprägungen von Lage, Klima, Boden und Vegetation.“

Hier zeigt sich, dass die AKS (1996) vornehmlich ein „Handbuch“ für Kartierer ist und somit nicht alle Aussagen unreflektiert im Rahmen einer Standortmodellierung herangezogen werden können. Allerdings wird durchaus auf DV-Anwendungen und Modelle hingewiesen (S. 272f): Dazu gehören z.B. die digitale „Optimierung der Standortgliederung“ und die Haltung der „Grundlagen für ökosystemare Modellrechnungen“, dies sind aber Arbeiten, bei denen auf bereits vorliegende Standortdaten zugegriffen wird. Auch zum Thema GIS-Einsatz verweist der AKS (S. 275f) mehrheitlich auf Arbeiten, die auf vorhandenen Standortdaten basieren: „Standortsbezogene Wachstumsmodelle“, Auswertungen zur Mächtigkeit von Decken bei Zweischichtböden, Kartenproduktion. Auf Möglichkeiten der Produktion von „Isolinien“ ausgehend von Bohrpunkten wird lediglich hingewiesen; die Erstellung der digitalen Standortsinformation wird noch nicht propagiert.

GAUER & RIEGER (1990) zeigen in „Standortskunde als Grundlage forstlichen Handelns“ ebenfalls Ziele des Standortkartierungsverfahrens am Beispiel Rheinland-Pfalz auf: „Ziel ist die ... Kartierung von Standortstypen als Zusammenfassung von Einzelstandorten, die so eng gefaßt sind, dass Baumartenwahl, Mischung, Unterstand, Ertragsleistung der Hauptbaumarten, waldbauliche Behandlung, ökologische Wertung und Standortgefährdung einheitlich bestimmbar sind.“

Zur Standortskartierung im weitesten Sinn zählen die Ausweisung von Wuchsräumen und die der Standortstypen selbst (3.1.3). Die Gliederung des AKS verdeutlicht die wichtigen Grundlagen und Aspekte der Standortskartierung (Auswahl):

Standortsmerkmal Lage

Oberflächenrelief

Standortsmerkmal Klima

Erhebung und Anwendung von makroklimatischen Daten

Energieangebot

Temperatur

Niederschlag

Wind

Das Gelände- oder Lokalklima

Hänge

Täler

Witterungsbedingte Schäden

Standortsmerkmal Boden

Bodenausgangsmaterial (Substrate)

Physikalische Bodeneigenschaften

Beurteilung des chemischen Bodenzustands und Nährstoffhaushalts

Vegetation als Ausdruck des Standorts

Die Erfassung der Waldvegetation

Die Vegetation als Kartierungshilfe

Ähnlich äußert sich auch STÜBER (1998:9f). Er unterscheidet bodenbezogene Daten und Klimadaten, wobei erstere durch das geologische Ausgangsmaterial, bodenchemische und -physikalische Daten und die organische Auflage (Humusformen) charakterisiert werden. Der Boden ist als Lieferant von Nährstoffen - vor allem im Sinn einer fortwährenden Nachlieferung- und als Medium zur Säurepufferung bedeutsam. Klimafaktoren wie Temperatur, Luftfeuchte, Windverhältnisse und Einstrahlung werden genannt. In der Untersuchung des standortbezogenen Jugendwachstums der Lärche trägt er auch den Umwelteinflüssen, die den Standorteigenschaften eine gewisse Dynamik verleihen, über die Berücksichtigung des Stickstoffeintrages Rechnung.

Bei KOPP & SCHWANECKE (1994:11) wird auf die Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktion des Waldes hingewiesen und festgestellt, dass diese Funktionen nur nachhaltig erfüllbar sind, „wenn das Leistungsvermögen des Naturraums umfassend beachtet wird. Dieses Leistungsvermögen zu erkunden und auf Karten mit Erläuterungen praxisnah darzustellen, ist Aufgabe der Standortserkundung.“

REHFUESS (1991) stellt die Bodengesellschaften mitteleuropäischer Waldlandschaften vor. Da innerhalb von „Landschaften“ ganz „verschiedenartige Bodenformen“ nebeneinander vorkommen und die Grenzen zwischen ihnen nicht scharf und festgelegt sind, müssen Grenzen nach „Ähnlichkeitsbereichen“ willkürlich festgelegt werden. Um „Kartiereinheiten“ festzulegen werden Konventionen herangezogen, wie sie in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (1982) und in AKS (1980) formuliert sind (S. 15f).

Für ein Gebiet im östlichen Nordrhein-Westfalen schreibt THOMBANSEN (1990) in der Erläuterung zur Kartierung, dass die Aufgabe der Standortskartierung sei, „alle für das Waldwachstum bedeutsamen Umweltfaktoren, wie Lage, Klima und Vegetation zu erfassen und zu analysieren. Einzelstandorte mit sehr ähnlicher Naturausstattung werden zu lokalen forstökologischen Einheiten -den sogenannten

Standortstypen- zusammengefaßt, sofern sie in ihren waldbaulichen Möglichkeiten und ihrer Gefährdung nicht wesentlich voneinander abweichen und annähernd die gleiche Ertragsfähigkeit besitzen.“

Zum Thema Baumartenwahl wird die Meinung vertreten, die Standortkartierung solle zwar für die Baumarten die „Standortamplitude“ beschreiben, es sei aber nicht ihre Aufgabe „das Bestockungsziel in Form von Betriebszieltypen ... festzulegen.“ Dies sei Aufgabe des Waldbesitzers, der sich ohne bindende Wirkung mehr oder minder an Vorschläge der Standortkartierung hält (ASCHE 2001:827).

Die Basisintention der Forstlichen Standortkartierung ist hinreichend klar: Themen wie die Anpassung der Baumartenwahl, Bestandeswachstum und Gefährdung des Bestandes kehren immer wieder – in diesem Kontext ist die Standortkartierung zu sehen.

2.2 Kartierungsgeschichte und Kartierungen der Bundesländer

Einen Überblick zur Forstlichen Standortkartierung in Deutschland -vor allem für den östlichen Bereich- gibt SANDNER (2001). Er verweist auf PFEIL (1856) der einen Aufsatz mit dem Titel „Was wollen und können wir durch die Wirthschaftseinrichtung und nachhaltige Ertragsberechnung eines Waldes erreichen?“ Interessant ist der Ausdruck „nachhaltig“, der auch heute noch (oder heute wieder) in Bezug auf den Schutz von Ressourcen und auf weitblickende Bewirtschaftung nicht nur in der Forstwirtschaft in aller Munde ist. SANDNER (S. 47) meint, „die Idee, den Waldbau auf standörtlicher Grundlage zu betreiben, stammt aus dem 19. Jh.“ Der Tharandter Bodenkundler KRAUB habe den „Weg von der Standortbeschreibung zur Standortkartierung“ beschritten (KRAUB 1936, „Aufgaben der Standortkunde“). Eine frühe, an geologischen Ausgangsmaterialien orientierte aber auch reliefbezogene forstlich-bodenkundliche Kartierung legte JAHN (1933) für das Westthüringische Buntsandsteingebiet vor. Ein Negativum der ersten Standortkarten ist sicher -wie bei allen konzeptionellen Anfängen- die nichtsystematische Einzelaufnahme, auf der sie beruhen (SANDNER 2001:51).

Der AKS (1996:277-319) befaßt sich ausführlich mit den Kartierverfahren der Bundesländer. Einen Überblick der Bausteine innerhalb der Kartierung der **ostdeutschen Bundesländer** gibt der AKS (1996:304): Komponenten des Standortes sind dort die Lufthülle, der Boden, Grund- und Stauwasser und das Relief, die in sog. Komponentenformen, zuerst nach Stamm- und Zustandseigenschaften, gegliedert wurden. Die Stammeigenschaften z.B. der Komponente Boden ergeben die Stamm-Bodenform. Abgesetzt von den eigentlichen Standortkomponenten wird die Komponente Vegetation betrachtet, wiederum mit ihren Stamm- und Zustandseigenschaften. KOPP & SCHWANECKE (1994:11) erläutern: „Die Vegetation als wichtigste Komponente der biotischen Naturraumeigenschaften wird als ökologisches Beurteilungskriterium unausgesprochen mit erfaßt.“ In der kartographischen Umsetzung dieses Ansatzes ergeben sich mehrere „Mosaik“, wie z.B. das „Reliefmosaik“ (AKS, S. 308). Sie werden zu sog. Hauptmosaiktypen zusammengetragen. „Bei der Abgrenzung ... des Standortmosaiks ... stehen im Mittelgebirge und Hügelland das Klima- und Reliefmosaik im Vordergrund, während im Tiefland das Bodenmosaik an erster Stelle steht.“ (KOPP & SCHWANECKE S. 80).

Im Bundesland **Nordrhein-Westfalen** stellt sich das Verfahren wie folgt dar. Zuerst findet eine „separate Bodenaufnahme“ durch das Geologische Landesamt NRW (GLA, jetzt GD, Geologischer Dienst) statt. Es resultieren Bodenkarten im Maßstab 1:5.000 u.a. mit den Inhalten Bodenart, -typ, Entwicklungstiefe und Nährstoffverhältnisse (AKS 1996:292f). Bodeneinheiten werden daraufhin vom forstlichen Standortkartierer zusammengefaßt, wenn die Unterschiede für das Baumwachstum keinen Belang haben

oder wenn andere, z.B. klimatische Faktoren überwiegen. Einheiten werden aufgeteilt, wenn z.B. einstrahlungsbedingt ein differenzierter Wasserhaushalt angenommen werden kann. Wasser- und Lufthaushalt und bodenmorphologische Eigenheiten werden zur „Öko-Serie“ vereinigt. Der Gesamtwasserhaushalt ist vom Klima und dem Geländewasserhaushalt abhängig. Das Relief im allgemeinen und topoklimatische Gegebenheiten (z.B. Frostlagen) werden als wichtig erachtet. Die Trophie wird mit einer Umschreibung des Substrats bzw. der Öko-Serie impliziert und verbal mit Ausdrücken wie „reichere“ oder „ärmere“ verdeutlicht.

Ältere Darstellungen der nordrhein-westfälischen Konzepte finden sich bei MÜLLER (1956), EIDMANN (1957) und WAGNER (1968). Eine Übersicht der Kartiergepflogenheiten für die Jahre ab etwa 1967 gibt WACHTER (1972:262f) unter Erläuterung der „Bodenkarte“ und der „Öko-Serie“. VON ZEZSCHWITZ (1984) erläutert die Grundsätze für Bodenkartierungen zur Forstlichen Standorterkundung und differenziert nach Grundwasserbeeinflussungen, die nicht nur für den Wasserhaushalt, sondern auch für die Stoffversorgung (Calciumzufuhr) wichtig sind. In diesem Bundesland wird eine Diskussion über Methoden und Inhalte der Kartierung bzw. Klassifikation zur Zeit geführt (SCHULZ & ASCHE 2000).

Laut AKS (1996:284-289) nutzt **Hessen** „Standorts-Merkmale“ aus den Bereichen Klima, Vegetation und Boden. Sie geben Aufschluß über die „Elemente“ Wuchszone, Klimafeuchte, Geländewasserhaushalt und Trophie. Deren Zusammenführung ergibt die ökologische Grundeinheit, den Standortstyp. Ein Merkmal ist z.B. die mittlere Niederschlagssumme im Jahr. Ein weiteres Merkmal, aber aus dem Bereich Vegetation, sind „Ökologische Artengruppen“. Interessant ist die Betonung des Merkmalbereichs Vegetation: „Soweit die vegetationskundliche Ansprache von Geländewasserhaushalt und Trophie ausreicht, ist die Untersuchung des Bodens durch Bohrprofile auf die stichprobenweise Absicherung ihrer Befunde auszurichten.“ Zusätzlich kommen Leitbodenprofile hinzu. Bodendaten dienen anscheinend der „Absicherung“ der Zusammenhänge, die zuvor vegetationskundlich eingeschätzt wurden (AKS S. 286). ZIMMERMANN (1985) stellt die Kartierungen des Bundeslandes **Hessen** und die Baumartenverteilungen zusammen. Von großer Bedeutung sind wie erwähnt der „Geländewasserhaushalt“, z.B. mit „nasswechselfeucht“ und „mäßig trocken“ gekennzeichnet und die „Trophie“, die in drei Stufen aufgeteilt ist. Es gibt keinen „Gesamtwasserhaushalt“, wie in anderen Bundesländern üblich. Eine übergeordnete Einteilung ist die nach sechs meereshöhenabhängigen Wuchszonen (z.B. Obere Buchenzone); sie ist nach AKS ein vertikal-zonales „Element“ des Standortstyps. In der horizontalen Betrachtung wird auch klimatisch in „subkontinental“ und „subatlantisch“ differenziert (Klimafeuchte).

Die übergeordnete Gliederung enthält wie üblich Wuchsgebiete (12) und in erster Linie bodenkundlich bedingte Wuchsbezirke (64). Im Wuchsbezirk Bramwald (etwa 2000 ha) des Wuchsgebiets Weserbergland sind beispielsweise 24 % der Fläche mit Buche auf frisch bis betont frischen Standorten mittlerer Nährstoffversorgung bestockt. Sie sind in die subatlantische Untere Buchenmischwaldzone (Wuchszone) integriert (ZIMMERMANN 1985:8ff, 23). Dieser Bereich schließt nordwestlich an das niedersächsische FOA Bramwald an (Abb. 1, Abb. 3).

Weitere Definitionen und konkrete Legendenbezeichnungen für die im Gegensatz zu Niedersachsen im Maßstab 1:25.000 veröffentlichte Karte bietet die HESSISCHE FORSTEINRICHTUNGSANSTALT GIEßEN (1985) mit der „Hessischen Anweisung für Forsteinrichtungsarbeiten“.

Nach GAUER & RIEGER (1990:1076) ergibt sich der Standortstyp bei der Kartierung in **Rheinland-Pfalz** aus drei Komponenten: Der Substratreihe, der Leistungs-(Frische)stufe und der Wärmestufe. Für Substratreihen werden Bodenformen, die nach Bodenphysik, Nährstoffhaushalt und Bodengenese und -dynamik ähnlich sind, zusammengefaßt. Interessant ist, dass hier „Leistung“ und „Frische“, also Wuchsleistung und Wasserhaushalt direkt miteinander assoziiert werden, was den Wasserhaushalt in seiner Bedeutung z.B. gegenüber der Nährstoffversorgung hebt. Das Einbringen von Höhenbonitäten (Wuchsleistung) in das Verfahren als Ausdruck der Wasserversorgung bei gleicher Wärme- und Nährstoffversorgung ist in diesem Bundesland ein zentraler Baustein (HOFFMANN 1977).

In **Baden-Württemberg** wird die lokale Gliederung in Standorteinheiten durch waldbaulich bedeutsame Standortfaktoren bestimmt. Die Einheiten sind durch „morphologische, geologisch-bodenkundliche- und vegetationskundliche Merkmale“ umschrieben. Wasser- und Nährstoffhaushalt sind besonders bedeutend. Wie auch in Nordrhein-Westfalen ist der Begriff der Öko-Serie wichtig. Er steht über dem der Standorteinheit. Innerhalb der Öko-Serien (~ ähnliche Substrate) wird Wert auf die Differenzierung nach Vernässung gelegt. Ökologische Artengruppen und schließlich der abgeleitete sog. Standortswald sind wichtig für die Benennung der Standorteinheit (AKS S. 277ff).

Der Begriff der Öko-Serie besteht auch im **Saarland**, innerhalb dieser Einheiten findet die Gliederung in Standortstypen statt; Kriterien sind dabei Wasser- und Nährstoffhaushalt. Eine Kombination geologisch-bodenkundlicher und vegetationskundlicher Kriterien ist maßgebend. Ähnlich Baden-Württemberg gelangt man über ökologische Artengruppen zu Wald- und Standortsgesellschaft (AKS S. 296f). Wie in NRW ist die Bezeichnung umschreibend und beinhaltet Waldgesellschaft, Frischegrad und Öko-Serie.

Bayern verwendet Substrattyp, Geländewasserhaushalt, Geländemorphologie, Vegetation und standörtliche Besonderheiten für die Abgrenzung lokaler ökologischer Einheiten (AKS S. 282). Zur Einschätzung des Wasserhaushalts wird hergeleitet, wie lang ein Boden nach Aufsättigung und 3 mm Wasserverbrauch/Tag durch den Bestand den Bestand versorgen kann. Die Baumart Fichte dient in Zusammenschau der Niederschlagsverhältnisse als Referenz. Standörtliche Besonderheiten sind von den erstgenannten Kriterien nicht ableitbare Eigenschaften zur Trophie, dem Humusreichtum oder etwa der Spätfrostlage. Die Komponenten Wasser- und Nährstoffhaushalt und Substrat werden auch von DÖRKEN & RÜCKER (2001) als wesentlich bezeichnet; damit besteht Ähnlichkeit zur Komponentenwahl in NDS.

Das Bundesland **Schleswig-Holstein** steht abseits, weil das Bergland fehlt. Topoklimatische Einflüsse sind weniger bedeutsam. Hier wird der „Geländeökologische Schätzrahmen für das Flachland“ des Landes Niedersachsen verwendet: Bodenmerkmale wie Bodenart, Humusgehalt, Skelettanteil und Lagerungsdichte und biotische Merkmale gehen ein.

Neben den erwähnten Standortmerkmalen und Standortselementen muß berücksichtigt werden, dass sich die Kartierer nicht nur an der (Zeiger)vegetation der Krautschicht orientieren, sondern den Bestand selbst als Bewertungskriterium heranziehen. Dies ist natürlich vor allem dann plausibel, wenn zur Relativierung die Bestandesalter bekannt sind. Höhenbonität ist in diesem Zusammenhang ein wichtiger Begriff. WOLFF et al. (1999:292) weisen auf die Berücksichtigung ertragskundlicher Daten hin.

Selbstredend münden die Standortkartierungsarbeiten in eine Karte. Zu ihrem Inhalt meint SANDNER (2001:47): „Die Standortkarten sind eine zweigspezifische Klasse der Naturraumkarten, in denen die forstlichen Standortformen (Zustand, Dynamik) zum Zeitpunkt der Aufnahme adäquat, räumlich ähnlich und mit Erläuterungen wiedergegeben und synthetisch dargestellt werden. Insofern sollte man eigentlich von „Standortformenkarten“ sprechen.“ BILL (1999:264) stellt die Standortkarte in den Rahmen von GIS und Umweltinformationssystemen und nennt sie eine „komplex analytische Karte“.

Auf die Wahl eines adäquaten Maßstabs in Einklang mit dem Kartierungsgebiet und mit den Standorteinheiten weist SANDNER ebenfalls hin. Wuchsgebiete, die dort auch Standorteinheit genannt sind, werden gemeinhin in länderumfassenden Karten abgebildet, meistens im Maßstab von 1:100.000 bis 1:500.000 (3.1.3). Auf der anderen Seite stehen die Standortformen, wiedergegeben in speziellen Standortkarten, zum Beispiel für das Gebiet einer Versuchsfläche im Maßstab 1:5.000. Dazwischen stehen Karten im Maßstab 1:10.000 bis 1:25.000, die z.B. Reviere umfassen. Hierzu gehören auch die Standortstypenkarten Niedersachsens, die im Maßstab 1:10.000 meistens ein Revier pro Blatt abbilden, wobei die gesamte „Standortstypenkarte“ aus mehreren Blättern besteht.

2.3 Forstliche Standortkartierung in Niedersachsen

2.3.1 Geschichte, Verwaltung, Prinzip des heutigen Verfahrens

Geschichte der Kartierung

Bei OTTO (1989:44ff) sind von WIEDEMANN (1951) definierte Auffassungen wiedergegeben: Ursprünglich sollte die Standortkartierung dazu dienen, Örtlichkeiten vor dem Hintergrund zu charakterisieren, dass bei gegebenen Klima und Boden Zuwachshöchstleistungen zu erreichen seien. „Die Frage: Wo, unter welchen Umweltbedingungen, auf welchem Standort erzeugt diese oder jene Baumart die große Menge Holz, stand folglich beherrschend im Vordergrund und löste die Standortkartierung in Niedersachsen aus.“ Es fiel auf, dass diese Ausrichtung dem Nachhaltigkeitsprinzip entgegensteuerte und Labilität des Bestandes und Verschlechterung des Bodens hervorrufen konnte, was die Intention der Kartierung auf Gefährdungspotenziale ausweitete.

Interessant ist z.B. die frühzeitige (1947) Diskussion über den zu wählenden Kartenmaßstab 1:25.000 oder 1:5.000 vor dem Hintergrund der Planung von Aufforstungen. Bereits 1949 wurden „Anweisungen für die Standortkartierung“ herausgebracht. Bei KREMSEK & OTTO (1973:23a-23n) ist einer der ersten „Geländeökologischen Schätzrahmen“ sowohl für das diluviale Flachland als auch für Mittelgebirge, Bergland und Hügelland veröffentlicht. Er war wesentlich weniger differenziert als heute, beispielsweise war die Substrat / Lagerungszahl für die Löss nur dreigeteilt (heute 5-Teilung) und für die Kalke viergeteilt (heute 8-Teilung, Tab. 3). Dass eine immer stärkere Differenzierung der Standorte im Gelände und somit in der Karte angebracht war, wurde bereits Ende der 60er Jahre erkannt, während in der Phase seit 1945 ein schnelles, großflächiges Bewerten der damaligen Blößen zwecks Planung der Wiederaufforstung das Ziel war (KREMSEK & OTTO 1973:20ff). GÖRGES (1969:27) konstatiert allerdings, dass die „niedersächsischen Landesforsten ... in den beiden Nachkriegsjahrzehnten standortkundlich eingehend bearbeitet“ wurden. Beispielsweise für den Harz gilt, dass aufgrund seiner Lage in Norddeutschland als das erste Mittelgebirge, auf das die Luftmassen aus Nordwesten stoßen, und aufgrund seiner vielfältigen geologischen Verhältnisse die waldbaulichen Möglichkeiten und Probleme zahlreich sind; daher wurde seit 1985 die teilweise grobe Kartierung des Harzes „modernisiert“

(SCHWIETERT 1989:449). Im Bezugsjahr 1995 waren etwa 55 % der Landeswaldfläche von etwa 1.074.000 ha standortkartiert (WOLFF et al. 1999 und www.forstnds.de, Stand 31.08.01).

Stellung der Standortkartierung in der Verwaltung

Die Standortkartierung sowohl der Staatsforsten als auch der sog. Betreuungforsten (z.B. Genossenschaftsforst, Kleinprivatwald) obliegt dem Niedersächsischen Forstplanungsamt Wolfenbüttel, das zu den drei dem Ministerium zugeordneten Stabsstellen gehört. Das Forstplanungsamt (NFP) ist zur Zeit in sechs Dezernate aufgeteilt. Eines trägt den Titel „Forst-GIS / Standortkartierung“. Es steht zum Beispiel neben dem Dezernat „Forsteinrichtung“.

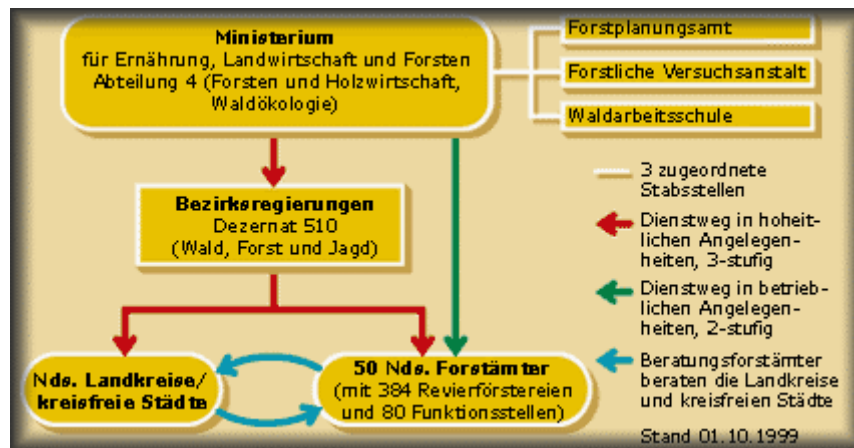


Abb. 2: Organisation der Niedersächsischen Landesforstverwaltung.
Aus: www.forstnds.de. Stand 25.07.01.

Prinzip und Zweiphasigkeit der Kartierung

„Die Forstliche Standortkartierung in Niedersachsen ist als ein zweistufiges oder auch regionales Verfahren einzuordnen. Die Zweistufigkeit ergibt sich dadurch, dass der Ausscheidung lokaler ökologischer Einheiten (Standortstypen) eine regionale Untergliederung des Landes vorausgeht“ (AKS 1996:289). Es besteht eine Hierarchie, basierend auf folgenden Kriterien:

- 8 Wuchsgebiete ~ Großräume, geologisch, pflanzensoziologisch, „geographisch-physiologisch“
- 29 Wuchsbezirke ~ Haupteinheiten, landschaftsökologisch
- Teilwuchsbezirke ~ (keine Angabe), klimatisch, geologisch
- Standortstypen ~ lokale ökologische Einheiten, vegetationskundlich, geologisch-bodenkundlich begrenzt (nach AKS, 1996:90) und
- Einzelstandorte (nach GÖRGES 1969:27 und KREMSER & OTTO 1973:22)

Reliefabhängige vegetationskundliche sowie geologische Befunde haben bei der Abgrenzung der Standorte des Berglandes ein „leichtes Übergewicht“, obwohl vegetationskundliche und geologisch-bodenkundliche Kriterien gleichrangig sind.

Die Wuchsbezirke werden bei GÖRGES (1969:27) „regionale Einheiten“ und die Standortstypen „lokale Einheiten“ genannt. Hinsichtlich der Lagegenauigkeit werden die Wuchsbezirke im Maßstab 1:50.000 kartiert. Diese Aussage ist allerdings vor dem Hintergrund der schwierigen „Meßbarkeit“ einer Wuchsbezirksgrenze, die Ende der 60er Jahre nur auf Punktmessung der Temperaturverhältnisse und der

Kenntnis der geologischen Einheiten beruhen konnte, als Orientierung für die Ausformung der Flächengrenzen zu verstehen. Merkmale von Wuchsbezirken sind beispielsweise:

- Bramwald-Brackenberg, BB: Unter 400 m, Regionalklima weniger humid und bedeutend wärmer als Unterer Solling; Buntsandstein, Muschelkalk, Lößüberlagerungen, Basaltdurchbrüche.
- Südwestliches Harzvorland, SW: Wald zwischen 220 und 300 m, beachtliche Reliefenergie, demnach eine Warm- und Feuchthaltung, hohe Speicherkraft für Wasser; Buntsandstein, Muschelkalk, Löß.
- Südlicher Mittelharz (SM): Wärmeeinfluß durch Lee der Hochlagen, hohe Niederschläge, stärkste Reliefenergie; Tanner Grauwacke, basische Ergußgesteine (verändert nach GÖRGES 1969:29ff).

GÖRGES (1969:40) verdeutlicht das Charakteristische der niedersächsischen Wuchsbezirke auch anhand der jährlichen Niederschläge. Sie liegen im Hohen Solling (HS, Abb. 3) bei etwa 1050 mm und im Unteren Solling bei etwa 900 mm. Das Sollingvorland (SV) hingegen liegt mit der Niederschlagsversorgung von 750 mm nah bei den Bezirken Bramwald-Brackenberg (BB, 780 mm), Südwestliches Harzvorland (SW, 780 mm) und Göttinger Wald (GW, 680 mm). Dies ist einer der Gründe dafür, den Hohen Solling (HS) entgegen den anderen Wuchsbezirken des Wuchsgebietes „Süd-niedersächsisches Bergland“ in dieser Arbeit nicht dem „Bergland“ zuzuordnen. Das Validierungsgebiet (1.2.2) befindet sich hauptsächlich im östlichen Teil des Unteren Solling, der dem Bergland zugerechnet wird, es tangiert aber auch eine kleine östliche Exklave des Hohen Solling. Insofern ist das Validierungsgebiet lagebezogen und standörtlich „am Rand“ des Berglandes plaziert.

Die Datenbasis des Gebiets „Bergland“ liegt verteilt im Süd-niedersächsischen Bergland und am westlichen Rand des Harzes, der wegen der Höhen- und Gesteinsverhältnisse auch dem „Bergland“ zuzurechnen ist (1.2.1). Zielgebiet ist das in der Wuchsgebietsgliederung definierte Süd-niedersächsische Bergland, Weserbergland (UW) ohne das Osnabrücker Hügel- und Bergland (OB), ohne den Hohen Solling (HS) und ohne Großteile des Unteren Solling (US, Nord-, West- und Südteil). Das Validierungsgebiet liegt demnach in dem schwer abgrenzbaren Saum zwischen den typischen Bergland-Wuchsbezirken wie SV und BB und dem ursprünglichen Unteren Solling (US, Ostteil, Abb. 3).

Eine Darstellung der Wuchsbezirke und Höhenstufen des Westharzes gibt auch SCHWIETERT (1989:450). Er erläutert auch die Schwierigkeit der Wuchsgebietsfestlegung anhand von Klimadaten und meint z.B., der „Südliche Mittelharz“ sei entgegen der vorherrschenden Meinung nicht wärmebegünstigt, zumindest ließe sich die Begünstigung nicht an den Meßdaten ablesen. Weitere Informationen zu den ehemals definierten Wuchsgebieten und -bezirken geben KREMSER & OTTO (1973).

Zur Bedeutung des Wuchsbezirks für den zu kartierenden Standortstyp schreibt GÖRGES (1969:28): „Durch seine Zugehörigkeit zu einem Wuchsbezirk sind die jeweils großklimatischen Einwirkungen auf die Bodenentwicklung und das Wachstum der Baumarten berücksichtigt. Wo diese Einflüsse durch das Relief wesentlich abgewandelt werden (Bergland, Mittelgebirge) liegen Gründe vor, die Untergliederung entsprechend zu differenzieren.“

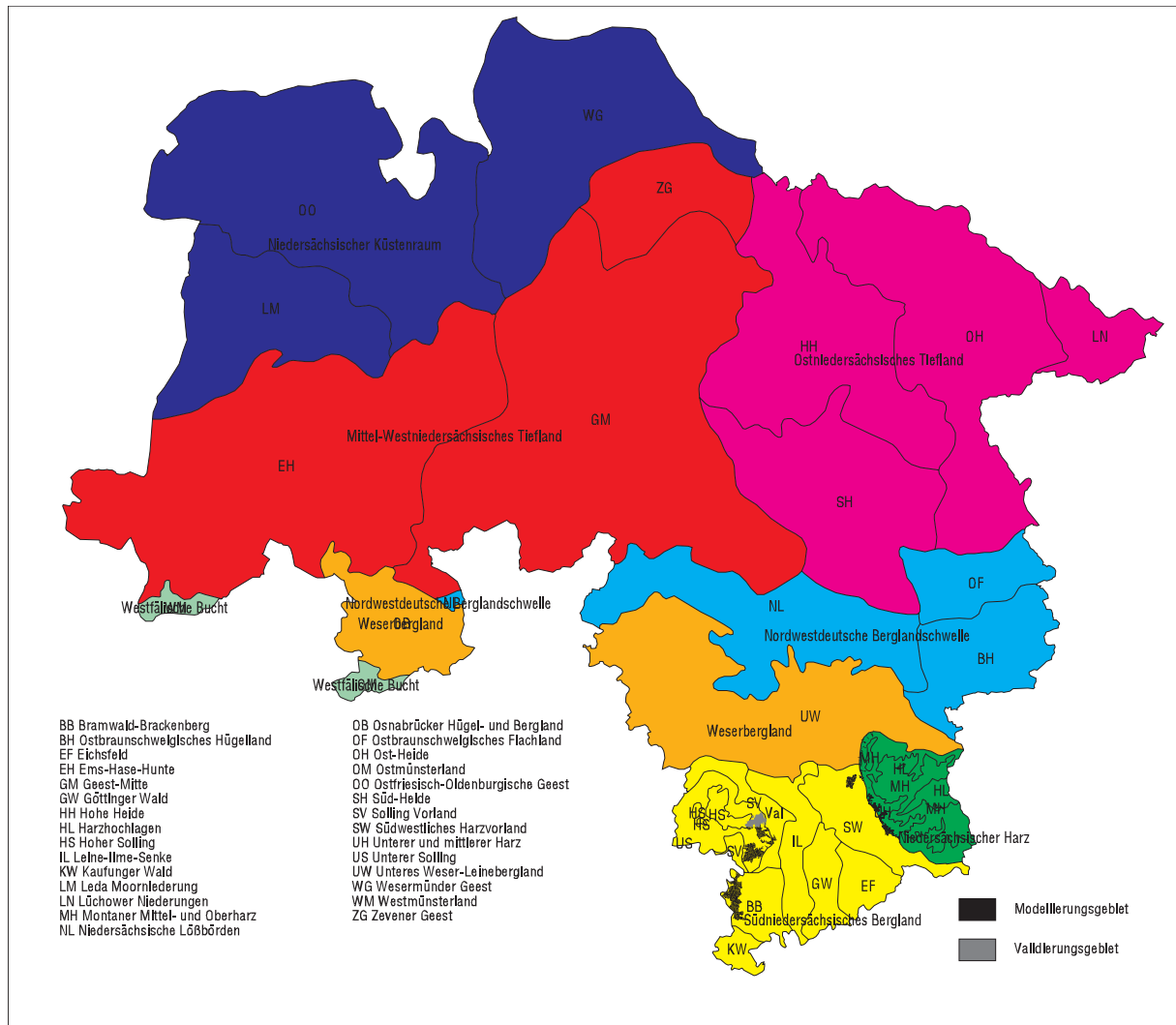


Abb. 3: Wuchsgebiete, Wuchsbezirke, Modellierungsgebiete und Validierungsgebiet im „Bergland“. Kürzel ~ Wuchsbezirke. Nach NFP (1996), ergänzt. Maßstab 1:2.100.000. (Vgl. Abb. 31).

Eine bestimmte Wasserhaushaltszahl (Abschnitt 2.3.2.2) hat, unabhängig davon an welchem Ort sie kartiert wurde, für den forstlichen Bestand die gleiche Bedeutung. Insofern ist regionale Vergleichbarkeit gegeben. Ihre Herleitung kann allerdings wegen der Vielzahl der Einflußfaktoren aus dem weiten Feld „Boden“ und „Klima“ unterschiedlich sein (EBERL 2000, mündl.):

- hoher Niederschlag im „Hohen Solling“, also sehr humides Klima mit Feuchte und Kühle, führt auch bei geringerer Wasserspeicherfähigkeit des Bodens bedingt durch hohen Skelettgehalt und/oder geringe Mächtigkeit zu der Ausweisung von „frischen-vorratsfrischen“ Hangstandorten (23)
- geringer Niederschlag (680 mm/a) im Wuchsbezirk „Göttinger Wald“, der von Osten gut mit Warmluft versorgt wird (GÖRGES 1969:30) kann hingegen nur dann mit solch einer Klassifizierung einhergehen, wenn von der edaphischen Seite durch die nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK) der Standort aufgewertet wird

Derartige Konstellationen und Wertungen führen z.B. für den Oberharz zu einer relativ seltenen Kartierung von „mäßig frischen“ im Gegensatz zu „frischen-vorratsfrischen“ Ebenen (nach dig. Datenbasis für den Harz des Instituts für Forstliche Biometrie), denn der Vegetationszeitniederschlag ist recht hoch. Diesen Sachverhalt nennt auch SCHWIETERT (1989:453): „Die mit 79 % sehr große Fläche

frischer, vorrats- und nachhaltsfrischer Standorte ist in den hohen Niederschlägen des Harzes, die über die Geländewasserhaushaltsansprache mit einfließen, begründet.“

EBERL (1998:10-14) erläutert das Verfahren und meint, dass die „Gliederung ... in der Vergangenheit eher grobschematisch“ war, weil die „formalisierte Grenzdefinition“ fehlte. Somit beruhte die zweite Phase des Gesamtkartierungsverfahrens auf einer unscharfen primären Grundlage, die für genaue Vergleiche wenig geeignet war.

Die Zahl der in einem Wuchsbezirk kartierten Standortstypen schwankt zwischen 30 und 50 (GÖRGES 1969:44). Auf die digitalen Kartierungen blickend erscheinen diese Zahlen heute zu gering, selbst dann, wenn die in den letzten Jahrzehnten kartierten Varianten (2.3.2.4) nicht einbezogen werden.

Unterteilt man Niedersachsen in nur sechs Bodenregionen nach geologischem Ausgangsmaterial, Bodenentwicklung und Klima, so kann man in ihnen deutlich unterschiedliche Waldanteile vorfinden, die siedlungsgeschichtlich bedingt sind, und kann Bodenregionen eine forstliche Bodennutzung zuordnen (WACHTER 1999:82f). Für das durch pleistozäne Lockergesteine bestimmte Tiefland wird der Buchengrundbestand mit Beimischungen von Kiefer und Fichte sowie zu geringen Anteilen auch mit Douglasie und Lärche vorgeschlagen. Im Bergland solle auf reicheren Standorten dem Edellaubholz mehr Bedeutung zugemessen werden, auf ärmeren Standorten im Buchengrundbestand Fichte, Lärche und Douglasie gefördert werden.

Digitale Ansätze zur objektiveren Ausweisung von Wuchsräumen anhand von numerischen Größen auf Rasterdatenbasis wie Atlantizität (Temperaturdifferenz Januar-Juli) und Vegetationszeit werden von der Landesforstverwaltung geprüft. Sie bedürften allerdings, um Operationalität für die Forstwirtschaft zu beinhalten, einer methodisch und kartographisch generalisierenden Bearbeitung, da die ordinal skalierten Klassen zu hohen Verzahnungsgrad und Streuung in der Fläche aufweisen. HARGROVE & LUXMOORE (1997:5) verweisen auf den Vorteil einer statistischen und damit objektivierten Ausweisung von „ecoregions“, die mit Wuchsräumen vergleichbar sind.

2.3.2 Komponenten des Standorttyps

Der „Standort“- verschlüsselt in der „Standortstypenkennzahl“- ergibt sich aufgrund der Definitionen in der „Forstlichen Standortaufnahme – Geländeökologischer Schätzrahmen – Anwendungsbereich: Mittelgebirge, Bergland und Hügelland“ des Niedersächsischen Forstplanungsamtes Wolfenbüttel (NFP). Er wird hier kurz GÖS (2000) genannt (Anhang). Die Standortskennzahl ist zumeist wie folgt aufgebaut.

Tab. 2: Komponenten der Niedersächsischen Forstlichen Standortstypenkarte.
(vgl. Abb. 11 und Anhang).

Komponente	Bodenfeuchtigkeit und Geländeform	Nährstoffversorgung	(Ausgliederung Substrat)	Bodenart und Lagerungsverhältnisse	Variante
Kurzsynonym	Wasserhaushaltszahl	Nährstoffzahl	(Substratzahl)	Lagerungszahl	Variante
arbeitsinternes Synonym	Wasserhaushalt	Nährstoff	(Substrat)	Substrat / Lagerung, Lagerung	Variante
arbeitsinternes Kürzel	BFG (GFO)	NÄH	(SUB)	SUBLAG	VAR
Beispielwerte	26	3+	(2)	2.3	t

Zusammenfassend lautet die Kodierung in diesem Beispiel 26.3+.2.3t. Die Komponenten werden in einer gegenüber der Tabelle veränderten Reihenfolge, beginnend mit Substraten vorgestellt, weil Substrate die Grundlage der späteren Modelle sind. Weiteres kann WACHTER & PIEPER (1996) entnommen werden.

2.3.2.1 Substrat / Lagerung

Die Substrate separat ohne ihre Lagerungsverhältnisse zu erläutern ist wenig sinnvoll, obwohl die sieben Substratklassen der Tab. 3 bestimmte spezifische Merkmale aufweisen, ohne die sie die jeweilige Klasse nicht ausbilden könnten. Substrate haben demnach ihren eigenen „Charakter“. Das Ausschlaggebende der einzelnen durch die Kodierung implizierten Werte wird aber erst in der Gesamtschau der Lagerungsverhältnisse deutlich. Für die spätere Modellierung ist es notwendig, die Eigenheiten dieser Standortkomponente offenzulegen.

Fällt ein Standort in eine bestimmte Substratklasse wie z.B. in Klasse 3, so setzt er sich i.d.R. aus mehreren Komponenten zusammen, beispielsweise im Fall Substrat / Lagerung 35 aus überlagerndem Löß und unterlagerndem, basenarmen Silikatgestein. Beide Komponenten sind separat aber auch namengebend für eine Substratklasse, nämlich 3 oder 2. Je nach Ausprägung (Mächtigkeit, Chemismus u.a.) der einzelnen Komponente erfolgt die Zuordnung. In der folgenden Vorstellung des Wertespektrums werden aus Gründen der Vereinfachung auch die Komponenten der Substrat / Lagerungszahl als „Substrat“ bezeichnet, obwohl dies in erster Linie der integrierende Oberbegriff ist¹.

Genaue Definitionen der Substrate und deren Lagerung enthält die Tabelle im Anhang. Die Definitionen nach GÖS wurden zwecks Übersichtlichkeit in zweierlei Weise gegliedert:

- 1 Textlich nach den Begriffen Hauptbestandteil, Überlagerung und Unterlagerung.
- 2 Graphisch-tabellarisch (Tab. 3) nach der Schichtabfolge.

Um die graphisch-tabellarische Übersicht erstellen zu können, wurden einige Formulierungen des GÖS gekürzt und so eine Verallgemeinerung durchgeführt. Für die Substrate sind folgende Kriterien, die bereits hier kurz genannt werden, entscheidend:

- Vorkommen bestimmter Locker- oder Festgesteinsmaterialien
- Mächtigkeiten der Lockermaterialien
- Fein- und Grobbodenanteil, ~Bodenart
- Basengehalt / Kalkgehalt

Beispielsweise ist für die Einstufung in die Klasse 6 „basenreiches Silikatgestein“ der Karbonatgehalt des Grundgesteins bzw. der Decke maßgebend: Bis zu dem Wert c3 (Karbonatgehalt des Feinbodens bis 10 m%, AKS 1996:81) ist Substrat 6 adäquat, danach bei stärkeren Karbonatgehalten bis c6 (>50 m%) sind „Kalke“ (4) auszuweisen.

¹ Die Substratkennzahlen 1 bis 7 sind nicht bedeutungsgleich in der Substrat / Lagerungskennzahl integriert. 23 heisst beispielsweise *nicht*: „Basenarmes Silikatgestein über Löß“, obwohl Substrat 2 „Basenarmes Silikatgestein“ und Substrat 3 „Löss oder ähnliche feinkörnige Sedimente“ bedeutet. Die Trennung durch einen Punkt (2.3) wird aus technischen Gründen aufgehoben. Substrat / Lagerung wird „Lagerung“ oder SUBLAG genannt.

Die bis dato kartierten Kombinationen dieser Merkmale bzw. Kriterien finden sich in Tab. 3 in Form von vierzig Substrat / Lagerungszahlen (11 bis 74). Durch farbige Zeilen wird die Schichtfolge verdeutlicht. Farben korrespondieren mit der übergeordneten Substratklasse der linken Spalte. Die obere „Schicht“ wird in dieser Arbeit zumeist „Decke“ genannt, die untere „Schicht“ ist das „Unterlagernde“. Dies ist nicht mit der z.B. in VÖLKELE (1995:26f) vorgestellten Terminologie gleichzusetzen. Das „Unterlagernde“ soll in dieser Arbeit so verstanden werden, dass es eine ggf. vorkommende Basislage und das Anstehende, was in den standörtlich bedeutsamen Bereich hineinragt, umfasst.

Kurztexte zeigen z.B. graduelle Unterschiede in Substraten zwischen Lagerungsklassen auf (schwach verlehmt, verlehmt) oder geben die geforderten Mächtigkeiten an. Weitere Merkmale hätten aufgenommen werden können; aus Gründen der Übersichtlichkeit wurden nur einige angeführt.

Regelmäßigkeiten sind bei vertikaler und horizontaler Betrachtung der Tab. 3 zu erkennen:

- Es gibt ein- und mehrschichtige Böden.
- Basenarme, basenreiche, kalkhaltige oder tonige Materialien über-/unterlagern sich gegenseitig oder unterlagern die drei anderen Materialien des Substrats 1, 3 oder 7.
- Bei den Lössen und Kolluvien/Alluvien (3 und 7) liegt das bestimmende Material oben. Deckenmächtigkeit u. Chemismus des Unterlagernden ergeben gewisse Parallelität zwischen 3 und 7.
- Bei den Tonen (5) liegt das bestimmende Material fast immer unten.
- Je nach Mächtigkeit bzw. Zusammensetzung einer Schicht fällt die Kombination in eine bestimmte Substratklasse: Z.B. Löß über Kalk kann in 3 (33) oder 4 (44) eingeordnet werden (vgl. Abb. 48).
- Innerhalb einer Substratklasse gibt es tendenziell eine Unterscheidung von gröber/skelettreicher hin zu feiner/skelettärmer, so bei SUBLAG 11, 12, 21, 22, 23, 31, 32, 41, 42, 43 und 61, 62, 63.
- Innerhalb Substrat 1, 2, 3 und 7 ergeben die Unterlagerung durch Kalk oder basenreichere Silikatgesteine dieselben Substrat / Lagerungsklassen: 15, 25, 33 bzw. 73. Beide unterlagernden Substrate können auf Grund der Mächtigkeit des andersartigen, auflagernden Materials nur eine geringe, vergleichbare Verbesserung hinsichtlich der Nährstoffversorgung des gesamten Standorts hervorbringen, was eine Zusammenfassung erlaubt.
- Das überdeckende Material ist bei geringer Mächtigkeit nicht näher spezifiziert (grau): Lagerung 12, 16, (47), 52, 55, 56, 62.

Die zugrunde liegenden differenzierteren Kriterien und Kriterienwerte sind in Tab. 4 zusammengestellt. Fehlende „Symmetrie“ und fehlende methodische Gleichartigkeit bei der Klassenausweisung wird durch die Kriterienanwendung der zwei Beispielklassen Substrat / Lagerung 22 und 71 verdeutlicht: Nicht jedes Kriterium wird in den einzelnen Fällen herangezogen. Lagerung 71 ergibt sich beispielsweise, wenn > 7 dm mächtiges Kolluvium auftritt.

Substrat	Substrat / Lagerung								
1 Grob- boden	11	12	13	14	15		16		
	Blöcke-Steine	<2 Kiese-Schotter	3-7, unverlehmt basenarm	3-7, unverlehmt Ton	3-7, unverlehmt Kalk	3-7, unverlehmt basenreich	2-7, Feinb.+ Kiese-Schotter		
2 basenarm	21	22		23		24	25		26
	<1, unverlehmt	3-7, schw. verlehmt	<3, schluffig	3-7, verlehmt	3-7, schluffig	>7 Ton	>7 Kalk	>7 basenreich	<7
3 Fein- boden	31	32	33		34		35		
	>15, verunreinigt	>15, typisch	7-15, a. angereichert Kalk	7-15, a. angereichert basenreich	>15, stauend	>7, gestaut stauend	7-15, auch verarmt basenarm		
4 Kalk	41	42	43	44	45	46	47		48
	<1, steinig+	<2 steinig	2-4 steinig -	4-7 steinig -	>3 basenreich	>3 basenarm	Kalksandstein	<7 Kalksandstein	>3 (Bröckel-)Ton
5 Ton	51		52	53		54		55	56
	schwer	>7	<2	2-7, verlehmt	2-7, schluffig	>7 Kalk	2-7	<3 Bröckelton	3-7 Bröckelton
6 basenreich	61	62	63		64	65			
	<1, steinig+	2-4 steinig	4-7, verlehmt steinig -	4-7, schluffig steinig -	>7 basenarm	>7 stauend			
7 Kolluvium Alluvium	71	72	73		74		Erläuterung		
	>7	2-7 basenarm	2-7 Kalk	2-7 basenreich	>2, stauend alle	<7, gestaut stauend	2er 3er 6er Decke	2er 6er Unterlag.	

Tab. 3: Konstellation der Schichtmerkmale der Substrat / Lagerungsklassen (SUBLAG) nach GÖS 2000.
 + = vermehrt, - = vermindert, unverl. = unverlehmt. Mächtigkeitsangaben der ersten Zeilen in dm. (vgl. Tab. 18 und Abb. 10)

Tab. 4: Kriterien zur Herleitung der Substrat / Lagerungszahl.
 Beispiel Lagerung *22* ~ kursiv, Lagerung **71** ~ **Fett**. (Vgl. Abb. 10 und Tab. 3).

Decke Ausstattung Chemismus	Decke Ausstattung Bodenart	Decke Mächtigkeit dm	Feinbodenarme Substrate	Unterlagerndes Festgestein	Löß u.ä.	Kolluvium / Alluvium
<i>basenärmer</i>	unverlehmt	0	ja	<i>basenarm</i>	ja	ja
basenreicher	<i>schwach verlehmt</i>	< bzw. > 2	nein	basenreich	nein	nein
kalkhaltig	<i>schluffig</i>	< 3 bzw. ≥ 3		Kalk		
	tonig	< bzw. > 4		Ton		
	skelettreich	< bzw. > 7				
		< bzw. > 15				

Innerhalb der Substratklassen gibt es begründete **Abweichungen** von dem konzeptionellen Schema, um bestimmte ungewöhnliche Standorteigenschaften in den GÖS zu integrieren. So wurden Standorte in Klassen zusammengefasst, obwohl sie streng genommen unter Anwendung gleicher Kriterien nicht zu integrieren sind. Der Grund für solche Kompromisse ist auch ein pragmatischer: Der Kennzahlenkatalog sollte nicht ausufern. In solchen Fällen sucht man vergebens nach einer Kombination, zu der ein im Gelände vorgefundener Standort besser passen würde; es existiert gewissermaßen eine Lücke im Schema. **Lücken** und Abweichungen im GÖS sind dann aber konsequent, wenn eine bestimmte Schichtkonstellation praktisch nicht auftreten kann oder wenn das entscheidende Kriterium andere Kriterien übersteuert oder impliziert:

Substrat 1, (feinbodenärmste Decke)

- Die Kombination mit Löß fehlt, weil Substrat 1 per se feinbodenarm ist und Löß dem widerspricht.
- Die Komponente „feinbodenärmste Decken“ fehlt bei den anderen sechs Substraten, weil ohnehin Substratklasse 1 resultiert, wenn derartige Decken existieren.

Substrat 2, (basenarmes Silikatgestein), - siehe unten Besprechung von 26 und 54.

Substrat 3, (Löß oder ähnliche feinkörnige Sedimente)

- Dreimal bzw. zweimal ist das Lockersubstrat so mächtig, dass die Unterlagerung ignoriert wird: 31, 32, (34). Die drei Fälle unterscheiden sich aber in der Bodenart bzw. der Hydromorphie.

Substrat 4, (Kalk)

Wegen den besonderen Verwitterungsbedingungen auf Kalkstein (Lösung, Skelettreichtum), der Bedeutung des Kalkes hinsichtlich des Chemismus und der Verwandtschaft zu Substrat 6 ergeben sich besonders viele Konstellationen (SUBLAG 41 - 48).

Substrat 5, (Ton)

- Überlagerung des Tons durch basenreiches Silikatgestein oder die Unterlagerung des Tons durch Kalk in größerer Tiefe ergeben dieselbe Substrat / Lagerungskategorie 54.
- Die Bröckeltone stellen eine Besonderheit dar; sie bilden keine Stauschichten.
- siehe unten Besprechung von 26 und 54.

Substrat 6, (basenreiches Silikatgestein)

- die Kombination mit Kalk ist wegen der übergeordneten Bedeutung des Kalks bei seinem Vorkommen überflüssig; es ergibt sich 45.

Substrat 7, (Kolluvium/Alluvium)

Lockersubstrat ist in einem Fall so mächtig, dass die Unterlagerung ignoriert wird: 71.

Eine Parallele in der Klassendefinition gibt es bei der Gruppe 4 „Kalke“ und 6 „basenreiche Silikatgesteine“ zwischen 41, 42, 43 einerseits und 61, 62, 63 andererseits. Dies ist eine Abweichung gegenüber den anderen Substratklassen. In beiden Definitionen wird auf den Skelettgehalt abgehoben. Er variiert von „sehr stark skeletthaltig“ (.1) zu „schwach skeletthaltig“ (.3). Die Überlagerungsbedingungen sind vergleichbar. Der Unterschied zwischen den Substratklassen 4 und 6 liegt aber in dem bereits erwähnten Karbonatgehalt ($4 > c3 \geq 6$). Die Betonung des Skelettgehaltes z.B. im Gegensatz zu der Umschreibung bei der Substratklasse 2 (sandig - lehmig) ist deshalb eingeführt worden, weil die Substrate 4 und 6 ohnehin „reich“ im Sinn von „basisch“ sind und die Lagerungszahlen nunmehr in Hinblick auf den Wasserhaushalt (viel Skelett ~ wenig Speicherkapazität) differenzieren sollen.

Die Kombination 26, „basenreich“ über „basenarm“, erscheint bei erster Betrachtung ebenso als eine Ausnahme vom Gesamtkonzept. Ähnliches gilt für 54, „basenreich“ über Ton. Bei näherer Betrachtung ist die Vergabe dieser Klassen aber konsequent. „Basenreich“ über Substrat 1, 3 und 7 zu vergeben ist nicht angebracht, weil der Charakter von 1, 3 und 7 durch Lockermaterial, Bodenart und/oder Mächtigkeit bestimmt ist. Die Kombination mit Kalk (4) ist in das Schema nicht explizit eingebaut, da derartige Standorte bis dato nicht vorkommen. Durchgängiger hoher Basengehalt ist bereits integriert (62 und 63). Somit bleiben nur die beiden explizit definierten Kombinationen 26 und 54 für den Fall einer Überlagerung eines liegenden Materials durch Deckschichten, die „basenreicher“ sind. Durch die verschieden gewichteten Kriterien, die dem gesamten Konzept zugrunde liegen und die Deckengenese, die nicht alle Kombinationen erlaubt, sind also nicht alle bei sieben Ausgangsmaterialien theoretisch möglichen Klassen vorhanden.

Bei einer Formulierung wie „bis 2 dm mächtig“ kann die Deckschicht gänzlich fehlen: Wenn bei einem Standort wie 42 (stark skeletthaltige Kalkverwitterungsböden, auch mit Lößbeteiligung) die Deckschicht, die bis 2 dm mächtig sein kann, fehlt, aber der Standort nicht in eine verwandte Klasse wie 41 einzuordnen ist, weil dort „sehr stark skeletthaltig“ gefordert wird, ist in 42 einzuordnen gerechtfertigt.

Verwechslungen zwischen ähnlichen Lagerungsverhältnissen beugt der GÖS in der Ergänzung der Grenzbereichsdefinition vor: Es gibt einen Eintrag „Nicht auszuschneiden bei“, in dem durch die Nennung jeweils anderer Substrat / Lagerungszahlen ein Hinweis auf Abgrenzung gegenüber ebendieser Klasse gegeben wird. Beispiele sind:

Lagerung	Nicht auszuschneiden bei
25	47
53	24 und 74
73	45, 62 und 63

In der ersten Zeile wird auf die Zuordnung entweder zu sandig-schluffigen Bodenarten (>7 dm) über Kalk (25) oder Kalksandsteinböden mit Decken <7 dm (47) hingewiesen. Das zweite Beispiel umfasst die Überdeckung der Tone mit lößbeeinflussten und/oder basenarmen Materialien (53) gegenüber den tonunterlagerten basenarmen Silikaten (24) bzw. den tonunterlagerten Kolluvien (74). Das dritte Beispiel schließlich betont die Genese der ersten Schicht, des Kolluviums, über basenreichem oder kalkhaltigem Material (73). Dem stehen Kalke über basenreichem Material (45) und Deckschichten bis zu 4 dm bzw. 7 dm über basenreichem, anstehendem Material (62, 63), entgegen.

In Anbetracht der Konstellationen und Kriterien ist festzuhalten:

- 1 Substratklassen richten sich nach der Betonung einer der die Lagerung ausmachenden Schichten.
- 2 Substratklassen können fast immer nur durch die Kenntnis zweier Schichten in Substrat / Lagerungsklassen differenziert werden.

Wenn für Substratklassen ohnehin die Kenntnis über die Vorkommen zweier Schichten notwendig ist (1), dann ist bereits die Information vorhanden, die zur Definition von Substrat / Lagerung notwendig ist. Demnach ist eine scharfe Trennung der scheinbar einfach herzuleitenden Information „Substrat“ von der vermeintlich komplexeren „Lagerung“ nicht generell gegeben.

Das vorgestellte Gefüge ist für die Herleitung von Substraten mit Hilfe der geologischen Information (7.1.4.1) und auch mit rein geomorphologischen Informationen (7.1.4.2) bedeutsam. Die modelltechnischen Konsequenzen werden in den vorgenannten Abschnitten ausgeführt.

Einordnung in Bodenkundliche Systematiken

„Substrate charakterisieren ... die bodenbildenden Ausgangsgesteine sowie deren Verwitterungs-, Umlagerungs- und Verlagerungszustand. Demnach werden bei der Kennzeichnung der Substrate z.T. auch Eigenschaften erfaßt, die das Ergebnis von Bodenbildungsprozessen sind.“ (ABDBG 1998:137). Man unterscheidet in Substratart und substratsystematische Einheiten (Substrattypen). Die Substratart richtet sich nach der Zusammensetzung und der Genese ohne Berücksichtigung der vertikalen Abfolge. Die systematische Einheit berücksichtigt die Abfolge der Substratarten(horizonte oder -schichten) (S. 135ff). Je nach Differenzierungsgrad ergeben sich Niveaus: Hauptgruppen, Gruppen und Untergruppen.

Die o.g. Zusammensetzung beinhaltet u.a. die Bodenmerkmale Grob- und Feinbodenart, Karbonatgehalt, Kohlegehalt und für den Fall, dass Festgesteine in den Ansprachebereich gelangen, deren Bezeichnung nach dem Symbolschlüssel Geologie (SSG, S. 138, 144ff). Auf dem hohen Niveau der Substrathauptgruppe wird dabei nur zwischen karbonathaltigem und karbonatfreiem Gestein unterschieden, eine Klasse der Substratgruppe ist z.B. [^]sa Sandstein, eine Gliederung in Untergruppen ist [^]sar Arkose und [^]s Sandstein. Für Material, das nicht dem Festgestein zugerechnet wird, ist die Verknüpfung der Fein- und Grobbodenkomponenten von großer Bedeutung. Extreme Beispiele sind Skelettböden (nur mit Grobbodenanteil, auf Niveau der Substrathauptgruppe) und dem gegenüber die Klassen der Substratuntergruppe wie z.B. Sandlehme (sl). Hierarchisch darunter stehen die Unterteilungen der Bodenartenuntergruppen (kurz „Bodenarten“, Bsp. Lt3), wie sie nach Fraktionen im Korngrößendreieck gebildet werden. Die Substratgenese beinhaltet auf dem Niveau der Substratgruppe Klassen wie „umgelagert“ und auf dem Niveau der Substratuntergruppe Klassen wie „kolluvial“ (S. 150).

Wie sind die beiden Standortkomponenten Substrat und Substrat / Lagerung einzuordnen ?

Eine Benennung der Substratarten im Sinn der Definitionen der ABDBG 1998 wird bei der Forstlichen Standortkartierung nicht durchgeführt. Wohl aber werden vielerlei einzelne Merkmale bzw. aus Verknüpfungen abgeleitete Merkmale ausgewiesen: So die geologischen Ausgangsmaterialien der Schichten und die Bodenarten je Horizont. Auch bodengenetische Angaben finden Eingang, um die Substratart zu umschreiben. Bezüglich der nach den Substratartenfestlegung anschließenden Typisierung ist festzustellen, dass sich die Forstliche Standortkartierung insofern auf dem genauen Niveau der Substratsubtypen bewegt, als dass der Ansprachebereich bis 20 dm reicht (vgl. ABDBG 1998:153). In

diesem sind nach ABDBG mehr als zwei Substratarten ausweisbar. Diese Vielfalt wird in der Standortkartierung durchaus auch durch die Beschreibung der Schichten und Horizonte geleistet. In der endgültigen Substrat / Lagerungsklassenausweisung werden in der FSK allerdings nur maximal zwei Substrat(arten) genannt. Insofern handelt es sich eher um das Niveau der Substrattypen bzw. Substratklassen der ABDBG (1998:153), aber mit dem Unterschied der Skalierung des Ansprachebereichs. So gilt:

Den Substratarten nach ABDBG entsprechen die einzelnen „schichtähnlich“ gelagerten Substrate, die in Tab. 3 verdeutlicht sind. Den Substrattypen entsprechen somit die Kombinationen der Schichten, also die Standortkomponente Substrat / Lagerung. Die Substratklasse im forstlichen Sinn ist umfassender, d.h. verallgemeinernder als die der allgemeinen Substratsystematik, da sie über Substratarten der Schichten hinweg aggregiert. Der Bereich, der unter der oberen Schicht (dem überlagernden Substrat) folgt, kann sowohl durch eine Decke bzw. „Lage“ (vgl. ABDBG S. 178) aufgebaut sein als auch das verwitterte und dadurch von dem Baumbestand erschließbare feste Anstehende sein.

Eigenschaften von Substraten vor dem Hintergrund der Modellierung:

Substrat 2, 4, 6: Basenarme Silikatgesteine, Kalke, basenreiche Silikatgesteine:

Die FSK differenziert durch die Substratklassen „basenarm“ und „basenreich“ die weite Spanne der Silikatgesteine, also derjenigen Gesteine bzw. Substrate, die weder besonders carbonatisch, tonhaltig, feinbodenarm, feinbodenreich noch kolluvial geprägt sind. Silikatgesteine enthalten Feldspäte, Glimmer, Amphibole, Pyroxene und Olivine in unterschiedlichen Mengen (SEMMELE 1983:20).

Basen- und Kalkgehalt werden hier integrierend behandelt, weil erstens bei der Kartierung die Unterscheidung in „basenarm“ (Substrat 2) und „basenreich“ (6) anhand der Gehalte der Elemente Ca, Mg und K vollzogen wird und zweitens die Unterscheidung in Kalke (4) und basenreiche Silikatgesteine (6) anhand des Karbonatgehalts (Calcium- und Magnesiumcarbonate, AG BODENKUNDE 1994:109) durchgeführt wird (GÖS 2000 und AKS 1996:81).

Was bedeuten die Begriffe „basenarm“ und „basenreich“ innerhalb der Niedersächsischen Forstlichen Standortkartierung? Bedeutet „basenreich“ „nährstoffreich“ oder eher „basisch“ im Sinn von „alkalisch wirkend“? Beides trifft zu, weil auch die Nährstoffversorgung angedeutet wird, da die basisch wirkenden Elemente wie Ca aber vor allem Mg und K wichtige Nährelemente sind. Der Phosphor ist für die Waldernährung zwar auch bedeutsam, firmiert aber nicht unter den Basen; somit ist sein Gehalt in den Ausgangsgesteinen bei der Beschreibung basenarmer und basenreicher Standorte nicht integriert und somit der Nährstoffzustand weniger gut beschrieben. Wenn also ein Silikatgestein als basenreich beschrieben wird, kann man nur tendenziell und unter Vorbehalt von einer „besseren“ Nährstoffversorgung ausgehen.

Wie Abb. 4 zeigt, findet sich bei gleicher bzw. vergleichbarer Wasserhaushaltszahl (19 und 23, vgl. Tab. 5) allerdings auf Kalkstandorten eine bessere Nährstoffversorgung (etwa 5) als auf den basenreichen Standorten (etwa 4, vgl. Anhang). Wegen des Mangels an basenreichen Standorten im Bergland wurden für diesen Vergleich Harzdaten benutzt.

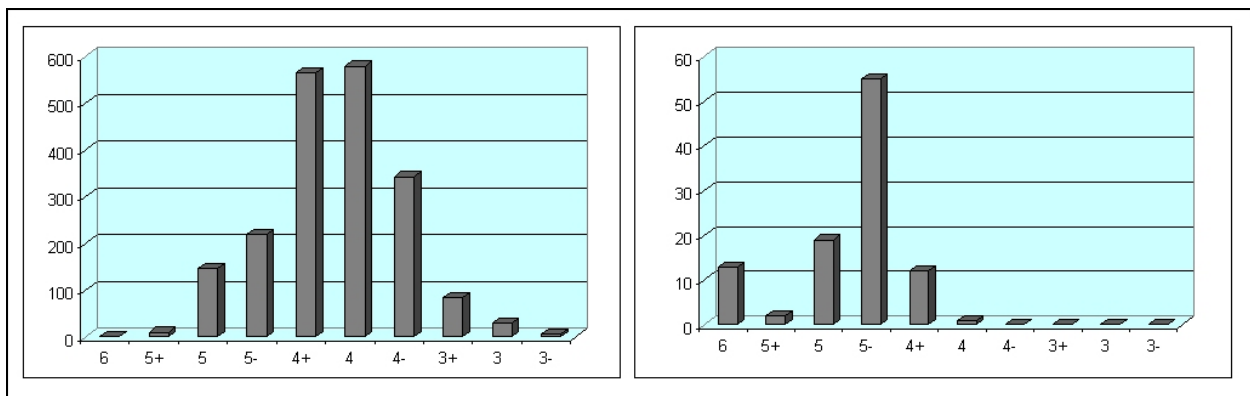


Abb. 4: Kartierte Nährstoffstufen innerhalb Substratklasse 6 „basenreich“ und 4 „Kalk“. Links 6, Harz, rechts 4, Bergland. Wasserhaushalt BFG 19 und 23. Y-Achse = Anzahl Flächen.

Bei BRÄUNIG (2000:142) wird die Einstufung des „Nährpotentials“ von „arm“ bis „reich“ über die Bestimmung von tiefenreduzierten Vorräten der Elemente Ca, Mg, K, P, den S-Wert (heute Mb-Wert), die Basensättigung und den pH-Wert vollzogen und somit auch dort die Kopplung von Elementgehalten und Indizien des Versauerungszustandes verwendet.

Als austauschbare Basen (Mb) gelten „an schwach sauren Gruppen austauschbar gebundene Kationen Ca, Mg K und Na“. In diesem Zusammenhang ist die Basensättigung (BS, in %) von Bedeutung. Sie ist ein Relativwert, der den „prozentualen Anteil von Mb bezogen auf die AKe“ beschreibt. Unter der AKe versteht man die effektive Kationenaustauschkapazität, eine tatsächliche Austauschkapazität bei aktuellem, nicht als neutral definierten Boden-pH-Wert (AKS 1996:150, SCHEFFER et al., S. 95, SEMMEL 1983:32). Es sind allerdings die Minerale, die die Elementgehalte der Ausgangsgesteine bestimmen, wie z.B. das Vorkommen von Olivin ($Mg,Fe^{II})_2SiO_4$ in den Basalten oder der hohe Anteil des Quarzes (SiO_2) in den Sandsteinen (vgl. SCHEFFER et al. (1984:8, 200) und ULRICH & SHRIVASTAVA (1978)).

Genaue Untersuchungen zum Nährstoffgehalt sind nicht erst seit den 70er Jahren für niedersächsische Forststandorte durchgeführt worden, sondern durchaus deutlich früher (KRASEMANN 1954). An sechs Grauwacken-Standorten in Hochlagen der westlichen Harzes prüfte er eine Reihe von Merkmalen und diskutierte die Ausstattung mit CaO, Kalium und Phosphor (S. 99). Auch die Bodenazidität, getrennt nach pH-Wert und „Austauschazidität“, wurde bereits thematisiert (S. 86, 107).

Die umrissenen Zusammenhänge sind allerdings wegen der Versauerungsprozesse auch auf ehemals basenreichen Ausgangsgesteinen, des Durchlaufens der Puffersysteme und der dabei auftretenden Belegung der Austauscher (Tonminerale, Huminstoffe) mit unterschiedlich leicht löslichen Kationen, der Silikatverwitterungsrate und des Elementaustrages durch Holznutzung und Grundwasserbewegung komplexer als es zwei schlagwortartige Begriffe fassen können (vgl. AKS 1996:148f, EBERL 1998:138f).

Eine Unterscheidung „basenarm“-„basenreich“ wird bei der Untergliederung der Substratarten nach ABDBG (1998) forststandörtlich nicht explizit vollzogen. Allenfalls kann über die „Klassifikation des natürlichen Ausgangsgesteins sowie des anstehenden Festgesteins“ durch die Benennung nach petrographischen Kriterien solch eine Information indirekt abgeleitet werden (S. 146). So wird deutlich, dass die Substratklassifizierung der FSK eine zweckorientierte ist, nämlich Aussagen in Hinblick auf die forstwirtschaftliche Eignung des Standortes bezüglich Wasserhaushalt und Nährstoffangebot treffen will.

Eine qualitative Bestimmung der Nährstoffreserven von Böden nach Gesteinsart und Verwitterung gibt AKS (1996:140). Bei „mittlerer“ Verwitterung werden folgende Reserven angenommen:

gering	Sand, Quarzsandstein, Quarzit, Kieselschiefer
gering / mittel	Sandmergel, Siltstein, Ton/Sandstein, Granit, Quarzporphyr, Grauwacke, Bims
mittel	Mergel, Löß, Auenlehm, Kalkstein, Syenit
mittel / hoch	Diorit, Ton, Tonmergel, Tonschiefer
hoch	Gabbro, Basalt* (*nicht für Kalium)

Substrat 2 wird i.d.R. nach GÖS auf Grauwacken, Tonschiefern, Kieselschiefern, Granit, Buntsandstein und sonstigen Sandsteinen entwickelt. Substrat 6 hingegen auf Basalt, Diabas, Gabbro, z.T. auch basenreichen Grauwacken und Tonschiefern.

Modelltechnisch müssen diese Kenntnisse bzw. Annahmen u.a. in die Unterscheidung zwischen „basenarm“ und „basenreich“ münden. Als Grundlage können nur geologische Informationen, die Stratigraphie und Petrographie geologischer Einheiten, dienen (7.1.3 und 7.1.4). Sie enthalten allerdings keine konkreten Angaben zu Mineralgehalten.

Substrat 3: Löss oder ähnliche feinkörnige Sedimente von > 70 cm Mächtigkeit:

Im Zusammenhang der Modellierung wäre von Belang,

- erstens, wo ursprünglich Löß abgelagert wurde und
- zweitens, wo Löß umgelagert oder in situ heute noch vorkommt und
- drittens, welchen Chemismus Lößmaterial aufweist.

Umlagerungsprozesse können im Rahmen dieser Arbeit nicht dynamisch modelliert werden. Vielmehr ist anzustreben, den aktuellen Status der Lößverbreitung und Lößdeckeneigenschaften herzuleiten. Löß ist rezent weder kalkhaltig noch basenreich, er ist nicht sandig oder tonig und kann deshalb in dem Spektrum der Substratklassen der FSK10 als basenarm bezeichnet werden (vgl. Anhang). Löß ist oftmals ein Bestandteil in einer fremdartigen Decke oder Fremdartiges ist ein Bestandteil in der Lößdecke: Dies implizieren z.B. die Lagerungsklassen 23 oder 33. Sollen am Ende der Modellierung Nährstoffkennzahlen ausgewiesen werden, so wäre von Belang, welchen primären Nährstoffzustand der Löß hatte, der sich im Lauf der Bodengenese zu Lößlehm² und Lößfließerde entwickelt hat. Primäre Nährstoffversorgung ist wichtig, weil der Löß als eine Komponente der Mischung z.B. mit basenreichem Verwitterungsmaterial aus Basalt die heutigen Nährstoffverhältnisse mitbeeinflusst (Beispielwerte zum Chemismus des Löß bei SCHEFFER et al., S. 8). Es stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage nach der Hauptkomponente einer Decke. Dieses -scheinbare- Problem kann aber umgangen werden, indem man die zu modellierende bzw. dem Kartierer vorzuschlagende Nährstoffkennzahl an der kartierten und im Modellanwendungsfall hergeleiteten Kombination von Wasserhaushalt und Substrat / Lagerung ausrichtet (7.5).

² Lößlehm: Durch Karbonatabfuhr und Eisenoxid- und Tonbildung umgewandelter Löß (SCHEFFER et al. 1984:9). „Primär kalkfreier oder durch Verwitterung entkalkter Löß; Verwitterung verbunden mit Tonmineralneubildung und Tonverlagerung (AKS 1996:47).

Davon abgesehen ist es zur Prüfung von Modellplausibilität sinnvoll, Lößverteilungen zu diskutieren:

Die Bedeutung für die Bodengesellschaften und beispielhafte Lage von Lößlehm wird bei SEMMEL (1983:49f, Hessisches Bergland) erwähnt bzw. verdeutlicht. „Lößlehmdecken ... haben sich in enger Anlehnung an das periglazial geformte Relief abgelagert bzw. erhalten.“ Im bundesweiten Maßstab sprechen SCHEFFER et al. (1984:9) von einer Variation der Lößmächtigkeit von wenigen dm bis 30 m, was nicht heißen soll, es sei überall Löß zu finden. Die lokale Verteilung und Mächtigkeit z.B. für die Bereiche im Westen des Niedersächsischen Berglandes südlich Rinteln (FOA Oldendorf) wird bei GROETZNER & MUTTERLOSE (1980:22f, 45f) dargelegt:

„... in Ebenen als flächenhafte Lößdecke, in zertalten Gebieten häufig an windgeschützten Talhängen als mächtiger Lößsaum abgesetzt. Sehr häufig ist der Löß kurz danach von Niederschlagswässern talwärts verschwemmt worden (Schwemmlöß). Er enthält dann mitunter auch gröbere Gesteinstrümmen der hangaufwärts anstehenden ... Festgesteine.“ „Im Bergland erfolgte die Ablagerung in den Talniederungen, auf Hochflächen und vor allem im Windschatten an Talhängen.“ Eine Mächtigkeit von 5 m wird als „auffallend groß“ bezeichnet. Der Verweis auf die Hochflächen ist bedeutsam, da die anschließenden Hänge und oft auch die Hochflächen selbst heute diejenigen Bereiche sind, die Forsten tragen und auf denen sich mehr oder minder mächtige Decken mit deutlichen Anteilen von Löß (Substrat 3 nach GÖS, „feinkörnige Sedimente“) befinden. Die Einmischung gröberer Kornfraktionen ist für die Standortmodellierung insofern von Belang, als dass Lagerungsklasse 31 für „verunreinigte Löss“, die über 15 dm mächtig sind, definiert ist (Anhang). Weiter heißt es zur Bodengenese: „Der ursprünglich vorhandene Kalkgehalt ist durch Verwitterung in der Nacheiszeit häufig wieder aufgelöst („Lößlehm“).“

In Zusammenhang mit den Untersuchungen an Schichtkämmen des Niedersächsischen Berglandes beschreibt SPÖNEMANN (1966:25) die Lößüberkleidung der Malm-Schichtkämme des Wesergebirges nordwestlich von Hameln. „Auf den flachen Rückhängen, z.B. des Möncheberges reicht sie bis auf den First, auf den Stirnhängen überzieht sie die flacheren Partien Ihre stark wechselnde Mächtigkeit liegt im allgemeinen bei einigen Dezimetern, beträgt jedoch auf dem Rückhang des Mönchebergs bis 2,5 Meter.“ Auch in den Muldentälchen der Stirn- und Rückhänge findet sich nach SPÖNEMANN (S. 106f) eine nennenswerte Lößlehmdecke. Sie ist vergesellschaftet mit Solifluktionsschutt, der hangwärts auch oberflächlich ansteht. Abb. 5 verdeutlicht die Konstellation der beiden Lockermaterialien über Schiefertone. Man kann die schwierige Unterscheidung von Standorten der „basenarmen Silikatgesteine“ (Substrat 2, tendenziell links) und der „Löss oder ähnlichen feinkörnigen Sedimente“ (Substrat 3, tendenziell rechts) bei der Forstlichen Standortkartierung absehen, wenn ein derartiges Tälchen unter Wald vorkommt und kartiert werden muß.

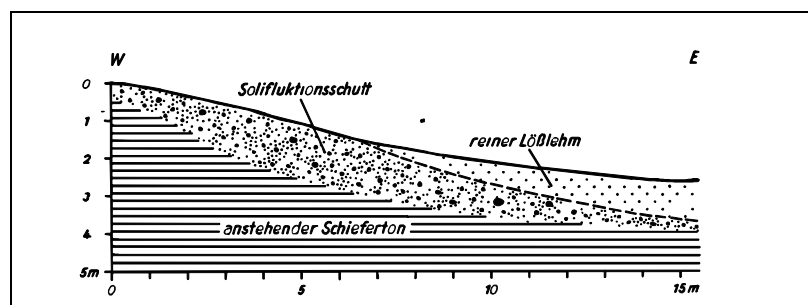


Abb. 5: Querprofil durch ein Stirnhangtälchen des Wesergebirges (Möncheberg).
Aus: SPÖNEMANN (1966:107). Lage etwa 3515000 5785500. Maßstab 1:200.

Die zur Talmitte von 0,5 bis auf 3 m anwachsende Mächtigkeit von Löß-Kalk-Fließerden im Bereich der Ostabdachung der Sackberge bei Alfeld verdeutlicht STEIN (1975:30); dort wird auch auf die Auskleidung pleistozäner Hangfurchen und somit die Glättung des Reliefs hingewiesen.

Um die Verhältnisse im Umfeld der Schichtkämme in der nördlichen Hälfte des Niedersächsischen Berglandes abgerundet darzustellen, ist die Lockermaterialverteilung auf den Fußflächen zu erwähnen, obwohl diese Flächen wegen ihrer geringen Neigung und Siedlungsnähe selten bewaldet sind. Die Fußflächen lägen „meistens auf einer lößbedeckten Solifluktionsschutzdecke, die in wechselnder Mächtigkeit das Anstehende überzieht“ (SPÖNEMANN S. 115f). Der Schutt sei vermutlich 1-2 m mächtig. Die Lößdecke habe ganz unterschiedliche Dicken, am häufigsten zwischen 0,5 und 1 m. Das Verhältnis der Beimischung aus hangaufwärts anstehendem Gestein und Löß sei wechselnd.

Die Verbreitung weichseleiszeitlicher Lösses im GK25-Blatt 3621 Stadthagen, also am nordwestlichsten Rand des Berglandes nördlich der bei SPÖNEMANN beschriebenen Schichtkämme, wird bei BOMBIEN & STOLZ (1993:140) verdeutlicht. Dort ist die Darstellbarkeit der Lößverbreitung anhand der digitalen GK25 aufgezeigt. Gut ist die saumartige Verbreitung nördlich und östlich der Bückeberge, die Verzahnung mit den Erhebungen und die Zergliederung der Lößflächen durch Tiefenlinien abzuschätzen.

Zur Sedimentation des Lösses findet sich verbreitet die Meinung, der Löß würde sich in Leelagen stärker anlagern, auch bei BIBUS (1989:71) bezogen auf Lokalitäten nördlich von Stuttgart. Nach der Akkumulationsphase drücke sich dies unter Umständen in asymmetrischen Hängen aus. In der Erläuterung zu GK25 4225 Northeim-West, einem Blatt inmitten des Niedersächsischen Berglandes, meint JORDAN (1986:63): „Da die Hauptwindrichtung damals wie heute West-Nordwest war, ist im Windschatten, d.h. auf den Flächen östlich der Höhenrücken, der Löß am mächtigsten.“ [...] „... Löß meistens ... hangabwärts verfrachtet worden ...“. In den Aufschlüssen lassen sich fast immer kleine Steinchen und Gruslagen finden, die auf ... Umlagerung durch fließendes Wasser, ..., oder durch Solifluktion hinweisen.“ Unter Annahme bestimmter vorherrschender Windrichtungen bei Ablagerung könnte man insofern auch bei der Modellierung der Substratklasse 3 von der Eignung einer Variablen, die die Hangrichtung beschreibt, ausgehen (Abschnitt 5.2.3 und 5.2.4.2 (ASPWEST, WINDEXP) und KARRASCH (1970:37f).

Anschaulich sind die Auswirkungen von Erosion und Sedimentation bei SEMMEL (1989:182), verdeutlicht, wobei es sich um die Bedeutung der Lößvorkommen bei der Interpretation geomorphologischer Prozesse und bei Datierungen in Hessen handelt (Abb. 6). Allerdings werden die jüngeren Sedimente, in denen Bodenentwicklung stattfand (z.B. „Lohner Boden“) von tertiären Schottern unterlagert, was im Niedersächsischen Bergland selten vorkommt.

VÖLKEL (1995) beschreibt „Periglaziale Deckschichten und Böden im Bayerischen Wald und seinen Randgebieten als geogene Grundlagen landschaftsökologischer Forschung im Bereich naturnaher Waldstandorte“ und bringt damit Bodengenese, Geomorphologie und Forstliche Standortkartierung zusammen. „Hohe Schluff- und Tonanteile infolge Lößlehmeinwehung als Charakteristikum der Haupt- und Mittellagen bedingen ein potentiell hohes Retentionsvermögen für Wasser und Nährstoffe.“ (S. 139).

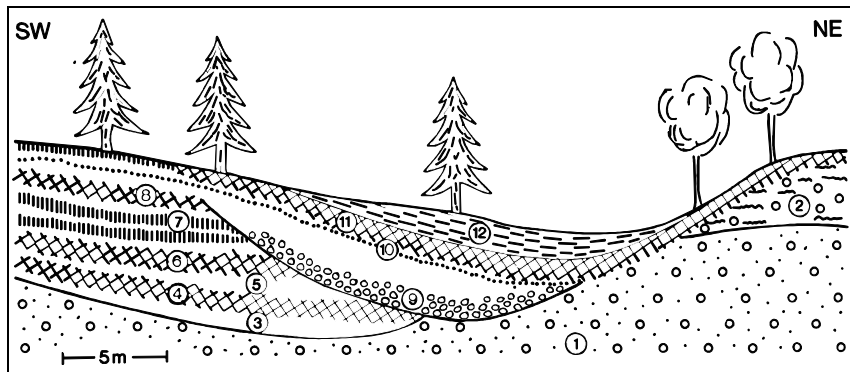


Abb. 6: Rekonstruktion der Entwicklung einer Senke im „Taunus Piedmont“ durch Lößklassifikation. 1 = Tertiäre Schotter, 2 = Frühe pleistozäne Schotter, 3 = Frühester Löß, 4 = Frühester überdeckter Bt-Horizont, 5 = Mittlerer Löß, 6 = Letzter überdeckter Bt-Horizont, 7 = Frühe Würm-Humus-Zone, 8 = „Lohner Boden“, 9 = Solifluktionsschutt, 10 = „Naßboden“ im jüngsten Löß, 11 = Holozäne Parabraunerde, 12 = Kolluvium. (Aus: SEMMEL S. 182. In: AHNERT 1989. Erläuterung übersetzt). Maßstab 1:360.

Bei den „Lössen“, wie sie im Geländeökologischen Schätzrahmen (GÖS 2000) definiert sind, handelt es sich nicht nur um rein äolisch abgelagertes, nicht umgelagertes Material, sondern um Material mit deutlichem Anteil von Löß oder ähnlichem feinkörnigen Material. Im GÖS heisst es: „Lösse oder ähnliche feinkörnige Sedimente von >70 cm Mächtigkeit.“ Typische Lößlehme (Feinlehm Böden) gehören demnach zwar auch zu Klasse 3, Lösse, tragen aber die Lagerungszahl 32 und sind wenig oder gar nicht durch Fremdmaterial beeinflusst. Die anderen Lagerungsklassen können auch Lößfließerden (35) oder verunreinigte Lösse bzw. Sandlösse (31) sein. Solche Stichworte sind bei der Modellierung zu berücksichtigen, weil sie die Differenzierung der Standorte ausmachen.

Substrat 7: Kolluvium (holozäne Hangschuttverlagerung³) u. Alluvium (holozäne Wasserabsätze)

Den Begriff „Kolluvium“ im Rahmen einer Zusammenstellung von Bodentypen für das GK25-Blatt 4224 Lauenberg erläutert HOFRICHTER (1976:85): „Das Kolluvium setzt sich aus angeschwemmten Material erodierter Böden der angrenzenden höheren Lagen zusammen. Es ist deshalb stets bis in größere Tiefe humos und mehr oder weniger nährstoffreich.“ Es besteht vorwiegend aus Material der Lößböden und kann, wenn erodierte Kalksteine dazukommen, wegen des erhöhten Kalk- und Tongehalts noch an Qualität gewinnen (vgl. EITEL 1999:88).

Ähnlich äußert sich GEHRT (in JORDAN 1994:95) in der GK25-Erläuterung zu Bl. 4024 Alfeld:

„Die Kolluvien und Auenböden werden ... als besondere systematische Einheit geführt. Je nach Alter und Material sind in den Kolluvien und Auenböden Humusanreicherung im Oberboden, Verbraunung und Tonverlagerung oder Eisenumverteilung durch Wassereinfluß erkennbar.“

Der Begriff „Kolluvium“ impliziert also nicht unbedingt ein bestimmtes Material, sondern drückt die Genese des an der Oberfläche vorzufindenden Materials aus; mit dieser Genese werden aber einige Zustandsgrößen assoziiert. Unter Kolluvium kann somit Lockermaterial vorkommen, das keiner kolluvialen Umlagerung unterworfen war, also Lößlehm oder eine Fließerde. Bei der Kartierung ergibt sich ein M-Horizont (migrare ~ wandern), der aus „fortlaufend sedimentiertem holozänem Solummaterial“ besteht und „einen Mindestgehalt an organischer Substanz“ aufweist (AKS 1996:68).

³ Der Begriff „Schutt“ wird seitens der Kartierung (STÜBER 2001) in diesem Kontext z.Z. als ungeeignet angesehen.

Abschließend kann eine Substrateinschätzung von OTTO (1989:55), der im Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten die Forstwirtschaft in Niedersachsen mitbestimmte, genannt werden. „Diese Einteilung [in die sieben Substratklassen] beinhaltet weniger eine geologisch-methodische Unterteilung als vielmehr eine Ordnung nach forstlich auswertbaren, waldbaulich-ertragsmäßig relevanten Kriterien.“ Gerade die Vermischung der Kriterien führt zu Problemen bei der Modellierung der Klassen (7.2).

2.3.2.2 Wasserhaushalt

„Der geländeökologische Schätzrahmen für das niedersächsische Bergland weist für die Charakterisierung des Geländewasserhaushalts 28 Kombinationen von Bodenfeuchtigkeitsstufen und Geländeform aus. Der Gesamtwasserhaushalt ergibt sich aus der Kombination mit dem Regionalklima des Wuchsbezirkes (Teilwuchsbezirkes)“ (AKS 1996:290). In dieser Arbeit wird von 29 „Bodenfeuchtigkeitsstufen und Geländeformklassen“, incl. der Sonderstandorte der Berglandmoore, ausgegangen. Sie werden hier BFG-Klassen genannt. Ein geringeres Level der Detailliertheit stellen die Geländeformklassen (GFO) dar. Die Tabelle im Anhang nennt alle Wasserhaushaltsmerkmale. Vereinfacht gesagt werden Standorte nach Grund- und Stauwasservorkommen und nach terrestrischen Wasserhaushaltsstufen benannt.

OTTO (1989:55) differenziert nach der „Frische“, dem Relief und der Exposition:

Schluchten, Täler	Schatthänge
Hangfüße, Täler	Sonnhänge
Ebenen, (breite) Rücken, Plateaus	Kämme, Kuppen, Rücken
Wasserüberschußstandorte in Hang-und Verebnungslagen	Steilhänge

Dieses Klassifizierungslevel (GFO) wird bei OTTO „Standortstypengruppe“ genannt, der Hang ist allerdings bereits auf dem selben Level wie Täler, Rücken etc. in Schatt- und Sonnhang gegliedert und wird nicht als Einheit aufgefaßt, wie es bei GFO-Klasse Hang in dieser Arbeit zuerst der Fall ist (7.2).

Zur Konstellation der Talformen am Harzrand (~Bergland), die mit Substrat- bzw. GFO-Klassen der FSK10 korrespondieren, gibt DUPHORN (in HINZE 1976:52, GK25 4127) erläuternde Informationen: „Talaufwärts gehen diese Sohlentäler meist in Kerbsohlentäler und Kerbtäler über, die schließlich in muldenförmigen Talschlüssen enden.“ Für die Neile, die im nordwestlichen Harz entspringt und durch das Lutterer Becken fließt, um in die Innerste zu münden, zeigt BLENK (1960) acht Querprofile.

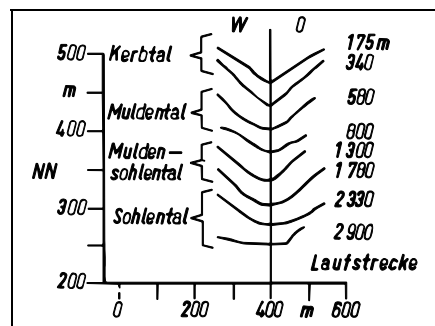


Abb. 7: Querprofile der Neile unter Angabe der Entfernung des Profils vom Talanfang. Profile zeigen die talabwärtige Entwicklung Kerbtal, Muldental, Muldensohlental, Sohlental. Aus: BLENK 1960.

Sie liegen allerdings allesamt im Harz, also nicht im Bergland nach Vorgabe dieser Arbeit. Trotzdem lassen sich Parallelen ziehen, weil die Klassen vor allem talformabhängig sind. Korrespondierende BFG-

Klassen der FSK10 des FOA Seesen sind: Von Talanfang in etwa 500 m Höhe bis 380 m Höhe BFG 3, dann bis 290 m Höhe BFG 5 und darunter BFG 7, also tritt im Prinzip auch die Abfolge Kerbtal, Muldensohlental und Sohlental kartiert auf (Tab. 5 und Anhang). Die beiden „Muldental“-Profile in etwa 400 m Höhe können nicht als flache Rinnen (BFG 4) nach GÖS in der FSK10 kartiert werden, weil die seitlich anschließenden Hänge zu lang und steil sind. Dererlei Standorte fallen in Klasse 3, die eher Kerbtalcharakter aufweist.

Eine Abfolge von hoch gelegener Ebene, Hang und Tal (GFO-Klassen), in diesem Fall aufgebaut aus den BFG-Klassen 9, 10, 19, 18 und 3, ist in Abb. 8 wiedergegeben. Auch wird die Position von Steilhängen (28) und die von südlich ausgerichteten, mäßig frischen Sonnhängen (24) deutlich. Im Hintergrund liegt ein Tal der grundwasserbeeinflussten BFG-Klasse 5. Untypisch oder zumindest nicht ad hoc erklärbar ist die Position von BFG 21 und 22, den im Vergleich zu 23 frischeren Klassen, am Oberhang: Hier liegen vermutlich Lagerungsverhältnisse vor, die diesen Wasserhaushalt prägen.

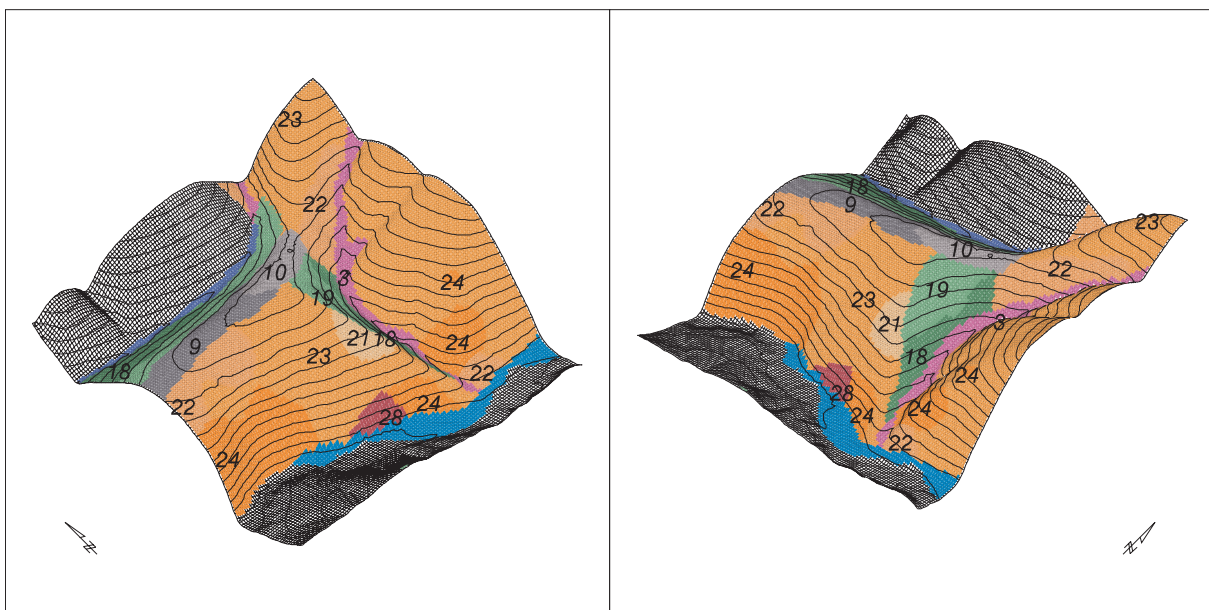


Abb. 8: Konstellation von BFG-Klassen der GFO-Klassen Ebene, Hang und Tal. Ausschnitt 3544200 5712070 3545470 5713290, FOA Bramwald, Überhöhung 3x.10 m Äquidistanz (vgl. Tab. 5).

Tab. 5 zeigt die Gliederung der Wasserhaushaltsinformation nach Geländeformklasse und Frischegrad ohne BFG 16, die Moore. Die Spalte „Beschreibung“ gibt den Wortlaut nach GÖS wieder; es wurde nicht zusammengefaßt, um die fließenden Übergänge zu verdeutlichen. Die hohe Zahl von einundzwanzig Beschreibungen fällt auf. Innerhalb einer GFO-Klasse tritt eine Stufung von „frischer“ zu „trockener“ auf, vor allem innerhalb der Hänge. Desweiteren wird klar, dass GFO-Klassen eine Frischegradtendenz aufweisen: Beispielsweise sind Täler frischer, Rücken trockener.

Problematisch ist die Einordnung der Stauwasser-BFG-Klassen 12 bis 15, vor allem von 15, die als „trockener“ interpretiert wurde. Auffällig ist die Einordnung von BFG 2, einem frischen bis mäßig frischen, schmalen (schluchtartigen) Tal, das nach dieser Einordnung abseits von den anderen Tälern steht. Der visuell große Abstand ist aber vornehmlich durch die Zwischenschaltung der STW-Klassen 13 und 14 bedingt. In der GFO-Klasse Hänge wird deutlich, dass die Gliederung in Schatt- und Sonnhänge nicht spiegelbildlich ist (vgl. 7.3.1). Die nicht grundwasserbeeinflussten Täler werden hier „schmale“ Täler genannt. Vereinfacht ergibt sich eine Vierteilung der Frischegrade: Oben finden sich die

Bezeichnungen, die in einer Form „trocken“ beinhalten, darunter folgen die frischen Standorte. Es schließen sich die feuchten Standorte an; darunter wird das Spektrum durch nasse Standorte beendet.

Tab. 5: Ordnung der Bodenfeuchtigkeitsklassen (BFG) nach Frischegrad und Geländeformklasse (GFO).
(GFO-Spalten beinhalten Code und Kürzel, Sch. = Schatthang, Son. = Sonnhang).

GFO:	schmale	grund-	Ebenen	Stau-	Hänge	Rücken	Steilhänge
	Täler	wasserb.		wasser-			
Beschreibung		Täler		bereiche			
des Frischegrades	12346	578	911	1215	1725	2627	2829
nach GÖS 2000	TAL _{schmal}	TAL _{grw}	EBE	STW	HAN	RUC	STE
					Sch.	Son.	
trocken							29
sehr stark wechselfeucht, wechselltrocken				12			
mäßig trocken, trocken						27	
mäßig sommertrocken					25		
mäßig sommertrocken, trocken			11				
mäßig frisch, mäßig trocken							28
mäßig frisch, mäßig sommertrocken					20		
frisch, mäßig sommertrocken						26	
mäßig frisch, kaum frisch			10			24	
frisch, mäßig frisch	2						
frisch, vorratsfrisch			9		19	23	
frisch, nachhaltig frisch		8					
hangfrisch, nachhaltig frisch, sehr frisch					18	22	
sehr frisch, nachhaltig frisch, hangfrisch	1 3 4						
schwächer wechselfeucht, staufrisch				14			
wechselfeucht, hangfeucht					17	21	
stärker wechselfeucht, staufeucht				13			
grundfrisch, grundfeucht		7					
grundfeucht, grundnaß		5					
staunaß				15			
andauernd feucht, naß	6						

Dimension und Polygonausformung

Setzt man Polygone von Wasserhaushaltsklassen mit Geotopen gleich, wie sie bei HAASE et al. (1985:46f) vorgegeben sind, so läßt sich das Verteilungsmuster im Bergland auf Ebenen oft als „gelappt“ und im Bereich von Tälern und anschließenden Hängen als „gefiedert“ bezeichnen. Der Begriff „kompakt“ (blockig) ist meistens nicht angebracht, weil die Flächen i.d.R. nicht gleichmäßig groß sind. Bezogen auf die Größenordnung der Einheiten in einem hierarchischen System von *relief units* sind die forststandörtlichen Einheiten in Anhalt an DIKAU (1989:52) im unteren Bereich des Mesoreliefs oder zwischen Meso- und Mikrorelief anzusiedeln: Denn die Weite ist mit zehn bis wenigen hundert Metern, die Fläche mit zehn Quadratmetern bis wenigen Hektar und die Höhendifferenzen mit 10 bis wenigen hundert Metern zu beziffern. FRIEDRICH (1996:103f) assoziiert diese Größenordnungen mit Bezug auf DIKAU (1988) allerdings mit bodenkundlichen Aufnahmen im Maßstab 1:25.000 bis 1:50.000.

2.3.2.3 Nährstoffversorgung

Die kartierten Werte der Nährstoffversorgung rangieren von 1 bis 6, wobei 6 „sehr gut“ und 1 „sehr schwach“ versorgt bedeutet. Sehr häufig ist im Niedersächsischen Bergland der Wert 4, „ziemlich gut“ versorgt. Zu- und Abschläge werden mit + und – gekennzeichnet. 6+ und 1- entfallen, so dass insgesamt 16 Stufen resultieren (GÖS 2000). V. ZEJSCHWITZ (1984:12) meint, der Basen- und Nährstoffgehalt des Bodens hänge von der Art und den Entstehungsbedingungen des bodenbildenden Substrates ab. Die

Substratansprache wiederum beinhaltet Petrographie und „bodengeschichtliche Überprägungen“. Wegen der Verbindung zu den Substraten wurde die Nährstoffversorgung unter Einbeziehung der Stichworte Kalkgehalt, Basenreichtum, Basenarmut und Versauerungsstatus in Abschnitt 2.3.2.1 näher besprochen. Im Modellaufbau bedingen Substrate und Wasserhaushalt die Nährstoffversorgung (Abschnitt 7.5).

2.3.2.4 Varianten

Zu den vorgenannten Komponenten Substrat / Lagerung, Wasserhaushalt und Nährstoffversorgung existiert eine Reihe von Varianten in Form von Buchstaben oder Sonderzeichen. Ihre absolute Zahl ist nicht sonderlich groß (Anhang), aber durch die Kombinationsmöglichkeiten kommt es zu einer deutlichen Erhöhung der maximalen Anzahl der Standortstypen.

Beispiele sind die Zeichen „f“ und „l“, wie sie bei dem Standortstyp 19.4.2.3fl kartiert sind. Das „l“ bezieht sich auf Substrat / Lagerung und bedeutet stärkere Verlehmung, „f“ bezieht sich auf den Wasserhaushalt und steht für „frischer als der Normaltyp“. Eine Modellierung auf Variantenniveau ist in dieser Arbeit nicht angestrebt, da z.B. eine stärkere Differenzierung des Wasserhaushalts als in 29 BFG-Klassen wegen der Schwierigkeit des Sachverhaltes und der geringen Datenmenge nicht durchführbar erscheint. Allenfalls könnten Versuche zur Differenzierung innerhalb von weit ausgedehnten Klassen (BFG 19 bzw. 23) zum Erfolg führen (vgl. 7.3).

Abb. 9 zeigt abschließend die Lage eines der „besten“ Standorte im Bergland: Ein sehr frisches bis nachhaltig frisches Tal (3) mit sehr guter Nährstoffversorgung (6) mit einer kolluvialen / alluvialen Decke über Kalk (7.3) südlich von Göttingen (vgl. Tab. 3 und Tab. 5):

3.6.7.3 T



Abb. 9: Beispiel für die Lage eines der „besten“ forstlichen Standorte im Niedersächsischen Bergland. FOA Reinhausen, 3.6.7.3T: Sehr frisch-nachhaltig frisch, sehr gut nährstoffversorgt, Kolluvium über Kalkstein, Ton im Unterboden, Lage etwa 3569600 5705370.

2.3.2.5 Aktualisierung des Schätzrahmens

Der zuvor dargestellte Geländeökologische Schätzrahmen unterliegt einer ständigen Revision: Sollten sich während Kartierungen wiederholt Horizont- bzw. Schichtfolgen finden, die nicht in das aktuelle Schema zu integrieren sind, werden Kennzahlen ergänzt: So z.B. die Substrat / Lagerungszahl 55 („Böden aus hoch anstehendem Bröckelton, auch mit dünnen schluffig-lehmigen Fließerden“, GÖS 2000, Tabelle im Anhang) für die Substratklasse 5 (Tongesteine). Sie wurde erstmals im Jahr 1997 im FOA Reinhausen ausgewiesen. Solche Ergänzungen werden zurückhaltend ausgeführt, um nicht Klassen zu definieren, deren Merkmale bereits bestehenden Klassen zugeordnet werden könnten und die so selten sind, dass eine separate Klassendefinition sie zu hoch werten würde. Diese Veränderungen des Schätzrahmens finden auf dem Niveau der einzelnen Standortkomponente oder ihrer Variante statt; neue Standortstypen ergeben sich in der Kombination der Einzelwerte der Komponenten.

2.3.3 Vorbereitung, Gelände- und Laborarbeit, Karte und Kartierungswerk

Im Vorfeld der eigentlichen Kartierung werden von Seiten des Forstplanungsamtes die ungefähre Lage und Anzahl der Profile definiert und die Profile durch ein Unternehmen erstellt. Der Kartierer orientiert sich im Gelände entweder anhand der DGK5 oder der Forstgrundkarte 1:5.000. Dies ist auch der Kartierungsmaßstab.

Die Profile dienen der detaillierten Ansprache der Standorte, trotzdem wird die Bewertung „Grobkartierung“ genannt. Dies hängt mit der Dichte von etwa 1 Profil je 4 ha zusammen. Pürckhauerbohrungen im 100x100 m-Abstand stellen die „Feinkartierung“ dar. Hinzu kommen bei Unsicherheiten Abgrenzungsbohrungen. Ein Hilfsmittel zur standörtlichen Einordnung ist die analoge GK25, deren Verwendung in digitaler Version in Abschnitt 7.1 beschrieben wird.

Anhand primärer Kartierungsdaten kann verdeutlicht werden, welche Arbeiten Bestandteil der Kartierung sind. Daten zum Wuchsräum werden durch bodenchemische und bodenmorphologische Daten ergänzt, denn sie sind die primären Daten, die in der Standortstypenzahl integriert werden. PAMPE (1998) gibt in Exkursionsunterlagen einen Auszug seiner Kartierungs- und Labordaten des Jahres 1997, wovon hier Profildaten des nordwestlichen Harzes gekürzt angeführt werden:

FOA Lautenthal, Rev. Wolfshagen, Abt. 356/1,

Höhenlage: 310 m, Exposition: NO, Höhenstufe: submontan

Geologie: Fließerde aus Löß und Diabas über Diabas.

Profil: Geol. Schicht	Horizont	Tiefe (cm)	BS (%)	AK _e (mmol IÄ/kg)	pH (CaCl ₂)
I	Ah	-8	33,1	130	3,89
	Bv	-60	11,0	66	4,04
II	C _v B _{v1}	-105	87,4	164	4,58
	C _v B _{v2}	-170 ⁺	98,0	279	5,47

Bodentyp: Braunerde. Bestockung: Buche 60j., Lkl 8; Fichte ...

Humsform: feinhumusarmer bis mullartiger Moder

Vegetation: (ökol. Artengruppen): II, (2-)3. (vgl. AKS 1996:209)

Natürliche Waldgesellschaft: submontaner Hainsimsen-/Waldmeisterbuchenwald (Luzulo-/Galio-Fagetum)

Standortstyp: vorratsfrischer, gut (bis ziemlich gut) nährstoffversorgter Schatthangstandort

aus schluffig-lehmiger, lößgeprägter Fließerde über basenreichem Silikatgestein (19.5-.6.3f)

Vorschläge zur Baumartenwahl:	1	WET 22 Buche – Bergahorn
	2	WET 25 Buche – Fichte ...
	10	WET 10 Traubeneiche – Buche (Hainbuche/Winterlinde)

Die Substrat / Lagerungsklasse 63 wurde im Harz auf etwa 3600 ha, also knapp 5 % der Fläche, an etwa 500 Orten im Sinn von Polygonen der Karte ausgewiesen. Es ist somit weder eine besonders häufige oder seltene Gruppe. Die hohen Werte der Basensättigung (BS) und der effektiven Kationenaustauschkapazität (AK_e) vor allem in größerer Tiefe ergeben die Nährstoffeinschätzung „5-, gut (bis ziemlich gut)“. Die pH-Werte sind für die Verhältnisse im Harz recht hoch. Da es sich um eine schluffig-lehmige Fließerde mit Lößprägung handelt, die auch eine nennenswerte Mächtigkeit aufweist, ergibt sich ein „vorratsfrischer“ Standort (19). Demnach resultiert der erstgenannte WET 22, Buche–Bergahorn, also eine durchaus

anspruchsvolle Kombination auf diesem immerhin 310 m hoch gelegenen und NO-exponierten Standort, der in die „submontane“ Höhenstufe des Wuchsbezirks „Nördlicher und westlicher Oberharz“ (SCHWIETERT 1989:450) gestellt wird.

Standortaufnahmeblätter für Lokalitäten im Wuchsgebiet „Unteres Weser-Leinebergland“ sind bei DEUTSCHMANN (1994) veröffentlicht.

Etwa 10 % der Profile werden im Labor analysiert, um die Meinung des Kartierers z.B. zu bodenmorphologischen Werten wie Korngrößenverteilungen und Tongehalt und bodenchemischen Größen wie Basensättigung (%), effektive Austauschkapazität (Ak_e in mmol IÄ/kg) und pH (auf Basis $CaCl_2$) zu prüfen. Dazu wählt der Kartierer solche aus, die er als typisch für das Gebiet erachtet. Dies kann er durchaus beurteilen, denn er hat nicht nur alle Profile bearbeitet, sondern auch zusätzlich die Pürckhauerbohrungen, die den Gesamteindruck formen, ausgeführt. Dererlei ausgewählte Profile werden als Leitprofile bezeichnet. Unterstützen die Laborwerte die im Gelände gewonnene Meinung nicht, so muss nicht nur z.B. die Nährstoffkennzahl des Profils geändert, sondern auch die Zahlen der von der Horizontabfolge her ähnlichen Profile müssen noch einmal kritisch betrachtet werden. Auf die Kopplung Bodenmorphologie – Bodenchemie im Zusammenhang mit z.Z. akzeptierten Bewertungsrahmen vor dem Hintergrund der Regelungsfunktion von Wäldern weisen SCHULZE et al. (2000:110) hin und beschreiben das chemische Untersuchungsprogramm in Niedersachsen: „Pro 100 ha wird ein Bodenprofil auf die wichtigsten Festphasenparameter (pH, Gehalte an C, N, P und austauschbaren Kationen) untersucht.“

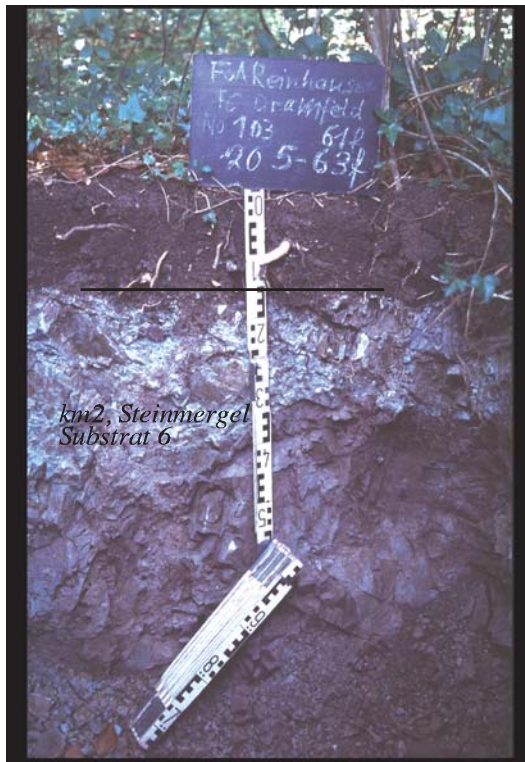
Zur Thematik Feldansprache – Laboranalyse findet sich in AKS (1996:140): Feldansprachen sind die Voraussetzung für die Profilauswahl und der einzige Weg der späteren Festlegung des chemischen Bodenzustands nicht beprobter Profile. Beide Informationsquellen dienen gegenseitig der Plausibilitätskontrolle.

Vier Profile in Abb. 10 zeigen einige Standorte der Substrate Löss (3), Kolluvien/Alluvien (7) und Festgestein (2456) in Verbindung mit Wasserhaushalts- und Nährstoffzahl. Nach der GK25 Blatt 4525 Reinhausen steht stratigraphisch die obere Abteilung des Mittleren Keupers, km², in der zahlreiche Steinmergelbänke auftreten, an. Dies rechtfertigt die Einschätzung als basenreicher Standort (Lagerung 61, 63) bzw. als Substrat 3 über basenreichem Unterlagernden (Lagerung 33, vgl. Abschnitt 7.1.4.1).

Polygone der Karte werden zuerst im Maßstab 1:5.000 gezeichnet und später im Maßstab 1:10.000 gedruckt. Einen Kartenausschnitt des Berglandes zeigt Abb. 11. Am Ende der Arbeiten steht das Kartierungswerk, ein Bericht, der die kartierten Standorte nennt und erläutert und auch ihre Größenverteilung und Lage im Raum beschreibt. Immer ist der Bezug zur Bewirtschaftung des Waldes wichtig: „Schließlich werden zu jeder Einheit standortangepaßte Empfehlungen für die künftige Wirtschaftsbestockung, besondere waldbauliche Behandlung und eventuell Meliorationsmöglichkeiten herausgestellt.“ (GÖRGES 1969:44).

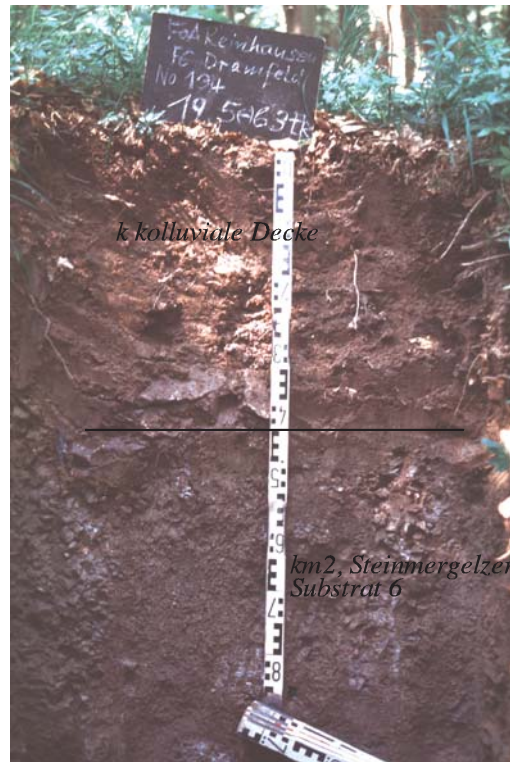
Eine durch Grenzziehung definierte Komponente einer Standorteinheit ist immer das Resultat des gesamten Wissens, des gesamten während der Geländebegehung und aus Profildaten gewonnenen Eindrucks und der späteren Einschätzung bei der „Schreibtischarbeit“. Diese Bestandteile werden innerhalb der Standortstypenkennzahl und im Kartierungswerk aggregiert und können textlich kaum dargelegt werden. Eine statistische Modellbildung (7.1.2, 7.2) sollte diejenigen Variablen kenntlich machen, die wahrscheinlich eine unbewußte Grundlage der Entscheidungen der Kartierer waren.

Abb. 10: Profile FOA Reinhausen, Gen.-F. Dramfeld u. Kl. Schneen, Kartierung 1997. (Vgl. Tab. 3 und Tab. 5)



*kn2, Steinmergel
Substrat 6*

a Profil 103: 20.5-6.1f



k kolluviale Decke

*kn2, Steinmergelersatz
Substrat 6*

b Profil 134: 19.5.6.3tk



*>7dm Kolluvium
Substrat 7*

d Profil 128: 18.5.7.1



*Löß
Substrat 3*

12dm

kn2, Steinmergelersatz

c Profil 127: 23.5.3.3tk oder 22.5.3.3fk

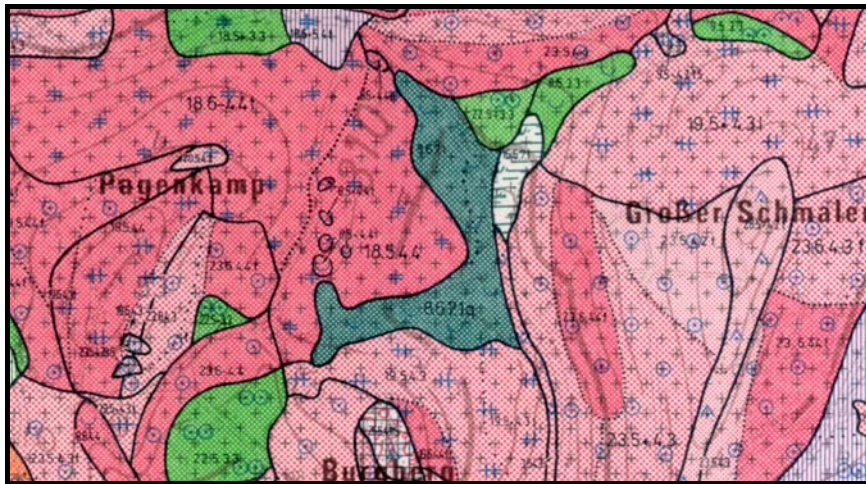


Abb. 11: Ausschnitt einer Forstlichen Standortstypenkarte im Maßstab 1:10.0000 (FSK10).
FOA Stauffenburg, Rev. Gittelde. Standortstypenzahl vgl. Anhang und Tab. 2.
Ausschnitt 3580000 5743630 3581150 5744260. (Hg.: NFP)

2.3.4 Abhängigkeiten zwischen Standortmerkmalen

2.3.4.1 Wuchsbezirke und Wasserhaushalt

Die Zweiphasigkeit der Kartierung wurde in 2.3.1 beschrieben. Dabei wird eine Abhängigkeit des Standorttyps von einem bestimmten „Wuchsraum“ suggeriert. Die Wuchsräume sind weitgehend klimatisch definiert. Ob sich in der landesweiten Verteilung der Standortstypen klimatische Gegebenheiten wie Niederschlags- und Temperaturverhältnisse verbergen, könnte hinterfragt werden, denn „Der Gesamtwasserhaushalt ergibt sich aus der Kombination [des Geländewasserhaushaltes] mit dem Regionalklima des Wuchsbezirkes (Teilwuchsbezirkes).“ (AKS 1996:290).

Die Standortkartierungen der letzten Jahrzehnte fussten auf der Gliederung von GÖRGES (1969), d.h., die von ihm definierten „Räume“ waren bekannt und mit ihnen wurden klimatische Werte, die von der Lage innerhalb Niedersachsens bestimmt werden, assoziiert. Um eine Prüfung des Zusammenhangs Wuchsbezirk - Standortstyp anstellen zu können, müssten andere Einflußgrößen eliminiert werden: Entscheidend kann die absolute Höhe sein, die den Niederschlag im gesamten Bergland beeinflusst und auch das geologische Ausgangsmaterial. So müßte das Problem auf konkretere Fragen, die auf die Verteilung von BFG-Klassen in Lagerungsklassen (7.1.4) abzielen, reduziert werden:

- 1 Treten in einem bestimmten Wuchsraum in einer Höhe von 250-300 m bei Lagerungsklasse 23 oder 35 vermehrt die BFG-Klassen „Rücken“ 26 oder 27 auf ?
- 2 Treten in einem bestimmten Wuchsraum in einer Höhe von 250-300 m bei Lagerungsklasse 23 oder 35 vermehrt die BFG-Klassen „Hänge“ 23 oder 24 bzw. 19 oder 20 auf ?

Da diese Fragen nur mit einer größeren und weiter über Südniedersachsen gestreuten Datenbasis als der, die vorliegt, beantwortet werden könnte, bleiben sie offen. Falls später eine besser geeignete Datenbasis zur Verfügung steht, ist es vorstellbar, dass zumindest eine Zerteilung in mehr oder weniger atlantisch bzw. kontinental getönte Modellräume resultiert: Dann würden im atlantischeren, mutmaßlich dem nordwestlichen Berglandbereich, vermehrt Gesamtwasserhaushaltsklassen wie 18 und 22 gegenüber 19 und 23 an Hangstandorten modelliert werden. Dies träfe jedenfalls dann zu, wenn das Plus an Niederschlag nicht durch einen vegetationszeitbedingten höheren Wasserverbrauch der Bestände aufgezehrt würde.

2.3.4.2 Substrat / Lagerung und Wasserhaushalt

Zwei Komponenten der Standortstypenzahl sind sehr vielfältig aufgebaut. Und zwar sind es „Bodenfeuchtigkeit und Geländeform“ (BFG) und die Kombination aus „Substrat und Lagerung“ (SUBLAG). Die Kennzahl BFG ergibt aggregiert die Einheit einer höheren Aggregationsstufe, nämlich Geländeform (GFO). Innerhalb der GFO stellt z.B. die Klasse der Stauwasserstandorte insofern eine Besonderheit dar, als dass die Ausformung des Reliefs und damit z.B. auch topoklimatische Größen für das spezifische Wasserdargebot weniger bedeutsam sind. Der GÖS besagt, der (Stau)-Wasserhaushalt sei eher abhängig von der Beschaffenheit des Substrats und dessen Verdichtung. Dies korrespondiert beispielsweise mit VÖLKE (1995:140), der in seinem Beispiel aus dem Bayerischen Wald einen „extrem tonreichen Bt-Horizont“ anführt.

Innerhalb der Substrate ist z.B. die Klasse 7 (Kolluvien/Alluvien) durch die Existenz von Lockermaterialablagerungen und somit bodenmorphologisch definiert, wohingegen z.B. die Klasse 6 (basenreiche Silikatgesteine) über den Chemismus definiert wird. Diese Heterogenität im Aufbau einer Komponente führt in Verbindung mit dem Zusammenhang zwischen Substrat und seinen Lagerungseigenschaften einerseits und den Wasserhaushaltsverhältnissen andererseits zu unterschiedlichen Interdependenzen und unterschiedlich häufigen Kombinationen zwischen den vorgenannten Werten. Das Ungleichgewicht geht aus Tab. 7 und Tab. 8 hervor. Hier kann die größere Datenbasis „Harz“ herangezogen werden, da der Sachverhalt wuchsraumunabhängig ist.

Anhand der Flächenausdehnung aller GFO- und SUBLAG-Klassen wurde die erwartete Ausdehnung jeder Kombination unter der Annahme von Unabhängigkeit beider Komponenten berechnet und mit der tatsächlichen Ausdehnung ins Verhältnis gesetzt. Es ergaben sich Verhältnisse größer oder kleiner als 1. Verhältniswerte, die kleiner als 1 waren, wurden zwecks besserer Darstellbarkeit invertiert ($1/10 \rightarrow 10/1$) und mit negativen Vorzeichen versehen.

Ein Beispiel ist die Kombination SUBLAG 53 mit GFO 1215 „Stauwasser“ (BFG 12-15) in Tab. 6.

Tab. 6: Verhältnis erwarteter und kartierter Ausdehnung der Kombination Substrat / Lagerung - Geländeform.

Komponentenwert	Einzelwert		Kombination		Verhältnis []
	kartiert [ha]	kartiert [%]	kartiert [%]	erwartet [%]	
Substrat / Lagerung: 53	553	0.750	0.223	0.012	18.6
Geländeform: Stauwasser	1177	1.600			

Durch Multiplikation der kartierten, prozentualen Anteile ergibt sich der unter Annahme von Unabhängigkeit erwartete Kombinationswert. Der kartierte Anteil ist in dem Beispiel deutlich höher als der erwartete, woraus sich der positive Verhältniswert 18.6 ergibt.

Raum Harz: Die Tabelle ist inhaltlich auf diejenigen Kombinationen, die einen Verhältniswert $> +5$ oder < -5 aufweisen, reduziert. Sie zeigt also nur deutlich die über- oder unterproportionalen Vorkommen bestimmter GFO-Klassen bei einzelnen SUBLAG-Klassen. Deshalb sind nicht alle Klassen erwähnt.

Tab. 7: Harz: Verhältnis erwarteter und kartierter Flächenausdehnung der GFO- und SUBLAG-Klassen. (etwa 74.000 ha). Werte von +5 bis -5 sind eingetragen. Extreme Verhältniswerte auf 30 bzw. -30 zurückgesetzt.

SUBLAG	Tal _{schmal} 12346	Tal _{grw} 578	Ebene 911	Stauwasser 1215	Hang 1725	Rücken 2627	Steilhang 2829
11						5,4	30,0
12				-30,0		6,1	
13	-6,6	-9,8	-8,3				9,5
16			-10,7	11,0			
21				-11,0			
23							-13,0
24				6,9			
25			-10,8				
31				6,1			-10,2
32		7,2		13,2			
34			-7,8	30,0	-9,9		
41					-5,4		30,0
42				-17,6			5,0
43		-18,8					
46	-6,1		5,9	7,9			
51				30,0			
52			-18,0	9,2			
53				18,5			
54				30,0			
61				-16,6			30,0
64		-5,5	-6,0				
71		30,0	-11,7		-30,0		
72	6,1	18,9			-9,8		
73	17,2						
74		30,0					

Bei der Diskussion der Verhältniswerte bestimmter Kombination ist allerdings jeweils zu prüfen, ob überhaupt mehrere Polygone -also Fälle- vorkommen, so dass man Repräsentativität annehmen kann.

Zu GFO-Gruppe **Stauwasser** (1215) fällt folgendes auf: Von Substratklasse Ton (51 - 56) entfallen überproportional viele Bereiche auf die STW-Klasse. Im Fall von Substrat / Lagerung 51 und 54 ist diese Aussage allerdings wenig fundiert, da absolut nur wenige dieser Fälle vorkommen. Im Fall 52 und 53 hingegen ist die Tendenz klar, diese Kombinationen sind häufig (12 bzw. 55 Fälle von 83 bzw. 183). Absolut gesehen sind SUBLAG 52 und 53 aber auch oft mit der GFO-Klasse Hang kombiniert (sehr leicht unterproportional), in solchen Fällen ist die WH-Variante „s“ etwa auf 1/3 der Polygone kartiert worden, was die Tendenz der Kombination von SUBLAG 51-56 und STW unterstreicht.

Handelt es sich um steinige **Kalkböden** (42), so sind Stauwasservorkommen erwartungsgemäß selten. Finden sich relativ mächtige, kalkhaltige Fließerden über basenarmen Silikaten (46), ist die Stauwassergefährdung überproportional. Häufig ist auch STW zu finden, wenn SUBLAG 34 (mächtige verdichtete Lößlehme, allerdings absolut nur 5 von 8 Vorkommen) auftritt, oder leicht überproportional, wenn SUBLAG 32 (typischer Lößlehm) vorkommt, was plausibel erscheint. Ebenso plausibel ist die Kombinationshäufigkeit mit Lagerung 21 und 24: Handelt es sich um tendenziell sandige Böden (21), kommt STW extrem selten vor, im Fall von sandig-lehmigen Bodenarten über tonigen Schichten (24) ist STW häufig.

Ähnlich verhält es sich bei Substrat 1. Auf Lagerung 12 (feinbodenarme Gesteinsböden) kommt nahezu kein Stauwasser vor, dagegen auf 16 (feinbodenreiche Decke über Geröllen, Schottern etc.) relativ oft.

Die **Substratklasse 1** (feinbodenärmste Decken) zeichnet sich im Fall Substrat / Lagerung 11 durch hohe Anteile von Steilhängen und Rücken aus, eine Kombination, die bei Felsen und Blockhalden (11) sinnvoll erscheint. Ähnliches gilt auch für 12 und 13, bei denen nach GÖS durchaus Feinbodenanteile auftreten dürfen.

Neben den zuvor erwähnten STW-Vorkommen bei 21 und 24 fällt bei **Substratklasse 2** (basenarme Silikatgesteine) nur die geringe Vergesellschaftung von SUBLAG 23 mit Steilhängen und SUBLAG 25 mit Ebenen auf. Dass zweischichtige Böden mit 30-70 cm mächtige Decken (23) kaum in sehr steilen Bereichen vorkommen, ist einzusehen. Da die Klasse 25 insgesamt im Harz nur 15 Vorkommen hat, ist deren Kombination mit GFO-Klassen schwer zu interpretieren.

Innerhalb der **Substratklasse 3** (Löss oder ähnliche feinkörnige Sedimente) tritt bei 32 (typische Lößlehme) oftmals die GFO-Klasse Tal_{grw} auf. Diese Tendenz ist durchaus einzusehen, da Lößakkumulation durch vorgegebene Tiefenlinien gefördert wird und Tiefenlinien vermehrt Grundwasser aufweisen.

Ausgehend von der **Substratklasse 4 (Kalke)**, ist die Häufigkeit der Steilhänge bei Substrat / Lagerung 41 (steinige, feinbodenarme Böden) auffällig. Diese Kombination ist nicht verwunderlich.

Betrachtet man die **Substratklasse 5 (Tone)**, so gibt es sehr wenige Ebenen in Kombination mit SUBLAG 52. Dies ist einzusehen, da gleichzeitig viele solcher Bereiche auf entweder Stauwasserbereiche oder Täler entfallen.

Geht man von der **Substratklasse 6 (basenreiche Silikate)** aus, fällt die Nähe fast aller Kombinationen SUBLAG - GFO zu dem Verhältniswert 0 auf, d.h., die SUBLAG-Werte 61-65 verteilen sich wie unter Unabhängigkeit auf GFO-Klassen. Nur zwei Werte stehen abseits: Die Häufigkeit von SUBLAG 61 zu den Steilhängen (2829), wobei diese Kombination immerhin 70 mal auftritt und die unterproportionale Kombination 61 mit der STW-Klasse. Beides ist plausibel, denn 61 steht für das Vorkommen von „sehr skelettreichen Silikatverwitterungsböden“ und „hoch anstehendem Grundgestein“ (GÖS 2000).

Beide GFO-Tal-Klassen (schmal, grundwasserbeeinflusst) treten innerhalb **Substratklasse 7** (Alluvien, 71-74) vornehmlich auf. Innerhalb von 73 finden sich ausschließlich die schmalen Täler, bei 74 ergibt sich ausschließlich die Kombination mit den breiten, grundwasserbeeinflussten Tälern. Auf kartierten Flächen der Kennzahlen 71 und 72 sind die grundwasserbeeinflussten und auch die schmalen Täler deutlich überproportional vertreten. Ebenen und Hänge sind hier sehr viel seltener als bei Unabhängigkeit der Werte rechnerisch erwartet.

Obwohl der Lagerungswert 74 Stauwasseranzeichen nach GÖS impliziert, treten dort nur grundwasserbeeinflusste Täler auf, die allerdings ebenso plausibel sind. Bei näherer Betrachtung der Datenbasis zeigt sich, dass nur vier Flächen SUBLAG 74 tragen und alle in BFG-Klasse 7 und somit in GFO 578 eingeordnet wurden; einmal ist die Stauwasservariante „s“ vergeben. Offensichtlich ist das Auftreten von Grundwasser also bedeutsamer als die implizierte Staukomponente.

Raum Bergland: Tab. 8 beinhaltet die gleiche Thematik für das Bergland.

Tab. 8: Bergland: Verhältnis erwarteter und kartierter Flächenausdehnung der GFO- und SUBLAG-Klassen. (etwa 9.000 ha). (vgl. Tab. 7).

SUBLAG	Tal _{schmal} 12346	Tal _{grw} 578	Ebene 911	Stauwasser 1215	Hang 1725	Rücken 2627	Steilhang 2829
21	-10,1					6,4	
22		-30,0		-7,2			
24	-10,8	-30,0					
31	-7,2	-10,7					
33				-9,0			
41						17,5	
42						13,8	
43		-30,0					
44				-30,0			
61	19,8						
71		22,3	-5,4		-30,0		
72	16,2	6,0			-8,1		

Die fett eingetragenen Werte korrespondieren mit Werten in Tab. 7; es wird die gleiche Tendenz verdeutlicht: Beispielsweise tritt auf 71 und 72 vermehrt GFO 12346 und 578 auf, dagegen weniger 1725. Einen ähnlichen Sachverhalt drücken auch die Werte bei SUBLAG 41 und 42 aus, nämlich dass vermehrt Rücken (2627) oder Steilhänge (2829) auftreten, was auf Kalkgesteinen mit geringer Lockermaterialdecke durchaus plausibel ist. Bei genauerer Betrachtung assoziieren fast alle Kombinationswerte einen sinnvollen Zusammenhang. Bei Lagerung 46 beispielsweise (Kalkdecke über basenarmen Silikatgestein) ist allerdings nicht ohne weiteres zu schließen, warum dort vermehrt im Datensatz „Harz“ Ebenen (911) und STW-Bereiche (1215) auftreten sollten.

Die Kenntnis der Substrate und der Lagerungsverhältnisse müßte demnach bei der Vorhersage bzw. bei der Modellierung von GFO-Klassen dienlich sein. Die hohe Anzahl der nah am Verhältniswert 0 rangierenden Kombinationen (~kein Eintrag in Tabellen) verdeutlicht aber auch, dass nur ausgewählte Erkenntnisse zur Modellierung der GFO-Zahl einzusetzen wären, wobei die Methode des Einsatzes auch an die große Zahl der indifferenten Kombinationen und wenigen klaren Zusammenhänge angepaßt werden müßte. Dies wird im Zuge einer Modellgliederung -allerdings nur auf der Aggregationsstufe „Substrat“- und Eliminierung von Zielklassen in bestimmten Modellsituationen, erreicht (7.2).

2.3.4.3 Wasserhaushalt / Substrat / Lagerung und Nährstoffversorgung

Die Nährstoffkennzahl innerhalb der gesamten Standortstypenkennzahl ist sicherlich die umstrittenste Information der FSK10 (vgl. EBERL 1998). Sie wird durch den Kartierer unter Einbeziehung der Labordaten der Leitprofile, des vorgefundenen Wasserhaushalts, der vorgefundenen Lagerung und nicht zuletzt des Baumbestandes und der Artenzusammensetzung in der Krautschicht festgelegt. Die beiden letzten Kriterien können hier nicht integriert werden. Unter Vorbehalt könnte allenfalls anhand der Forsteinrichtungsdaten über die Werte des Bestandesalters, der Höhe und des Durchmessers etwa auf die Nährstoffversorgung geschlossen werden, wobei aber der Wasserhaushalt das Bestandeswachstum erheblich steuert. Da er bei der Modellierung nicht bekannt ist, wäre ein Ableiten der Nährstoffversorgung über Bestandesdaten recht unsicher. Labordaten des Bodenchemismus der Profile sind vor einer Kartierung selbstredend nicht vorhanden. Somit kann in dieser Arbeit nur ein Analogschluß über kartierte Werte aus „Wasserhaushalt / Substrat / Lagerung“ und Nährstoffversorgung getroffen werden (7.5). Der Zusammenhang zu dem Substrat wurde in 2.3.2.1 aufgezeigt.

2.3.5 Anwendungsbeispiele

Das Niedersächsische Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten gab Richtlinien für den umweltschonenden **Maschineneinsatz** heraus (NMELF 1992). Wasserhaushalt, Bodenart und Lagerungsverhältnisse nach Standortskartierung bestimmen das Risiko von Bodenschäden durch Befahrung. Vier Stufen werden für das Bergland formuliert: Sehr hohes Risiko tragen z.B. Naßgleye (BFG 15, Anhang), ein hohes Risiko die Kolluvien/Alluvien (Lagerung 71-74) und ein geringes die ebenen Lagen mit Wasserhaushaltszahl 10 oder 11. In der Gefährdungsstufentabelle sind Wasserhaushalt (BFG) und Substrat / Lagerung entkoppelt. Alleiniges Vorkommen bestimmter Werte zeitigt schon eine bestimmte Risikostufe. Dies bedeutet, dass BFG und Lagerung korrespondieren: Mit bestimmten BFG-Klassen werden bestimmte Lagerungsklassen assoziiert bzw. andere ausgeschlossen. Soweit das zutrifft ist der Ansatz schlüssig. Ausschließlichkeit ist aber nicht gegeben, weshalb Inhalte und Format der Gefährdungsstufentabelle zu hinterfragen sind. Zu dem Anwendungskomplex **Befahrbarkeitsanalyse** stellt HILDEBRAND (1983) Untersuchungen auf Lößlehm vor, in denen erhöhte Lagerungsdichten beispielsweise die Keimfähigkeit von Buchensamen beeinträchtigen. Insofern ist Kenntnis der Verteilung von Lößstandorten (Substratklasse 3) bedeutsam. In diesem Zusammenhang stellt HABERL (2001:587) den Einsatz von drei Vollerntemaschinen in Abstimmung mit den Standorteinheiten vor.

LUNDERSTÄDT (1992:22f) verwendet Standortdaten wie „Substrat“ und „Wasserversorgung“ bei der Bearbeitung der Blattvergilbung der Buche in Kombination mit dem Befall der Buchenwollschildlaus, d.h. im Bereich **Forstschutz**. Unter Berufung auf ältere Literatur wird zwischen Buntsandstein und Muschelkalk als Substrat und zwischen „frisch“ und „mäßig frisch“ als Wasserversorgungsstufen unterschieden und erklärt, dass auf Muschelkalk bzw. auf frischem Standort die Blattvergilbung höher ist als auf Buntsandstein bzw. auf dem mäßig frischen Standort.

Auch abseits von natürlich gelagerten Waldböden werden die bestimmenden Faktoren der Standortsbewertung, Trophie und Wasserhaushalt, herangezogen. Ein Beispiel dafür liefert BRÄUNIG (2000:153), der die Entwicklung **forstlich rekultivierter sowie renaturierter Böden** in der Mitteldeutschen Braunkohlen-Bergbaulandschaft beschreibt. Als positiv stellt er beispielsweise heraus, dass auf „nicht schwefelsauren Kippenböden“ die durch den Bergbau an die Oberfläche gelangten Substrate höhere Basensättigung als natürliche Böden aufweisen können und Karbonathaltigkeit und höhere Nährstoffangebote zum Anbau von Edellaubbaumarten verhelfen könnten.

BIEDERBICK (1992:135) beschreibt das **Wachstum der Bestände**: „Die Standortfaktoren Geländewärmehaushalt und Geländewasserhaushalt haben in Gebieten mit hoher Reliefenergie eine erhebliche Bedeutung für die Baumartenwahl und das Baumwachstum. Eine wichtige Standortkomponente vor allem in mehrschichtigen Beständen ist darüber hinaus die reliefbedingte Variation der photosynthetisch nutzbaren Einstrahlung.“ Für eine Catena im Göttinger Wald nennt er Ertragsklassen (EKL) der Buche:

- | | |
|---------------------------------|--|
| - Plateau | Bärlauch-Kalkbuchenwald ohne sommerliche Frischezeiger, EKL II |
| - Plateaurand | Maiglöckchen-Kalkbuchenwald, EKL III |
| - Oberhang u. oberer Mittelhang | Seggen-Buchenwald, EKL IV,5 |
| - Mittelhang | Maiglöckchen-Kalkbuchenwald, EKL III |
| - Hangfuß | Bärlauch-Kalkbuchenwald mit sommerlichen Frischezeigern, EKL I |

Er interpretiert, dass die Energiezufuhr das Wachstum einschränkt, und verweist auf Wassermangelsituationen, die aus der Wechselwirkung geringer nWSK bei Flachgründigkeit und hohem Energieeintrag resultieren, nennt aber auch Gegenbeispiele. Positiv sei hoher Energieeintrag dann, wenn genügend Wasser vorhanden ist, aber in der Vegetationszeit Wärme und Licht die Produktion begrenzen.

W. WOBST (1962) beschreibt die **Wuchsverhältnisse** in einem klimatisch und bodenkundlich begünstigten Bereich Südniedersachsens, dem Rev. „Landteil“ im FOA Stauffenburg am westlichen Harzrand. Heute ist es weitgehend das Rev. Gittelde und Bestandteil der primären Datenbasis dieser Arbeit. In der für das Bergland typischen Höhenlage von 220-410 m auf 280 ha Muschelkalk und 500 ha Buntsandstein (sm) „beide meist überlagert von Lößlehm wechselnder Mächtigkeit“ bei Jahresniederschlägen von 900 mm und einer Jahrestemperatur von 7,5° hatte man etwa 1940 begonnen, den Wald nach „Grundsätzen naturgemäßer Waldwirtschaft“ zu behandeln. Dazu gehörten standortgemäße Baumarten –und rassen und ein horst-, gruppen- und truppweise ungleichaltriger gemischter Wald. Erreicht wurde dieses Gefüge durch Einzelstammnutzung, woraufhin sich in den Lücken auf Muschelkalk Buche, ergänzt durch Esche und Ahorn im Lauf der Naturverjüngung ansiedelte, auf dem Buntsandstein Buche ergänzt durch Fichte. Das Resultat ist z.B. in den früheren Buchenhallenbeständen ein durch den Jungwuchs bedingtes günstigeres Bestandesklima.

Die Fortführung der Ansätze von W. WOBST beschreiben UNTERBERGER & H. WOBST (1985:14): Die potenziellen natürlichen Waldgesellschaften, z.B. „submontane Hainsimsen-Buchenwälder aus der Gruppe der artenarmen Sauerhumus-Buchenwälder“ auf schwach podolierten sandigen Lehmen aus Buntsandsteinfließerden werden für das Revier genannt. Im Anschluß daran folgt die forstlich bedeutsame Gegenüberstellung der wichtigsten Standortstypengruppen und ihrer waldbaulichen Möglichkeiten. Die Standortstypengruppen setzen sich aus gruppierten Werten von „Bodenfeuchtigkeit und Geländeform“, „Nährstoffversorgung“ und „Substrat / Lagerung“ zusammen. Letzteres wird allerdings nicht eindeutig im Sinn der heutigen Kennzahlen genannt. Auf nachhaltig frischen und vorratsfrischen bis frischen Schatt- und Sonnhangstandorten, bei ziemlich guter Nährstoffversorgung bei lehmigen Bodenarten aus Buntsandsteinverwitterungsmaterial mit entscheidender Beeinflussung durch 70/80 cm mächtige Lößlehm Böden werden nur die anspruchsvollen Edellaubhölzer abgelehnt (z.B. Standortskennzahlen 19.4.2.3 und 23.4.2.3, vgl. Tab. 2). Favorisiert wird Buche mit einem standörtlich unbedenklichen Anteil der Fichte, Douglasie, Lärche und Weißtanne.

Die Wirkung der Standortsverhältnisse und der Pflegearbeiten auf die **Holzeigenschaften** und somit die Holznutzung betrachtet J. WOBST (1995:18) in seiner Untersuchung der verwertungsrelevanten Eigenschaften der Douglasie. Er zieht vier Bestände heran, drei im Tiefland und einen im Bergland (Kloster-FOA Westerhof, Südwestliches Harzvorland). Letzterer ist der wegen seiner „ziemlich guten“ Nährstoffversorgung (4) gegenüber dem Tiefland „wüchsige“ Bestand. „Die Aststärke wird nur in geringem Maße von der Standortgüte beeinflusst.“ „Die standörtlichen Verhältnisse geben die Wachstumsbedingungen vor, die insbesondere den Höhenzuwachs, die Differenzierung des Durchmesserzuwachses, den Stammquerschnitt, aber auch das Niveau der Jahrringbreite und der [holzanatomischen] Dichte wesentlich bestimmen.“ (WOBST, J. 1995:185ff).

Zur **Baumartenwahl** fand eine Diskussion über die Anbaufähigkeit der Buche und anderer Arten in den relativ großen Höhen des Harzes statt. Im Wuchsbezirk Oberharz (HO) sieht SCHWIETERT (1989:452) nach einer Prüfung der Klimadaten, die eine Komponente der Kartierung sind, bessere Möglichkeiten für

Buchen- und Edellaubholz. Er erläutert auch die Bedeutung des Standorttyps für die zu der Zeit aktuellen Betriebszieltypen (Bauartenmischung, S. 453), die im Kartierungswerk genannt sind und stellt aktuelle Bestockungen den möglichen „idealen“ gegenüber. Hier wurde also bereits das analog betrieben, was heute durch GIS digital erleichtert wird, nämlich die Formulierung von standortabhängigen Szenarien.

Die Anwendung der **Standortstypenkennzahlen in Verbindung mit Wuchsbezirken** wird anhand eines Auszugs von OTTO (1991:137ff) dargestellt. Derartige Schemata hatten in den 80er und 90er Jahren Gültigkeit und werden z.Z. von Regeln des NFP (STÜBER 2000, BÖCKMANN 2002) abgelöst.

Tab. 9: Standortstypengruppen des Wuchsbezirks Unteres Weserbergland (UW) und Waldbauliche Planung nach Betriebszieltyp (BZT vorrangig). Nach OTTO (1991:137), verändert.

Kalkgesteine						
40 Kalk - Lößmischlehme						
	Standorte (ha)			BZT		
	reichere	zieml. gut versorgte	mittlere/ärmere	reichere	zieml. gut versorgte	mittlere/ärmere
Tal	104	1	-	Esche-Roterle	-	-
Hangfuß	649	-	-	Buche-Edellaubholz	-	-
Plateau	2.240	237	-	Buche-Edellaubholz	Buche-Edellaubholz	-
Stauwasser	40	-	-	Buche-Eiche	-	-
Schatthang	1.738	310	-	Buche-Edellaubholz	Buche-Edellaubholz	-
Sonnhang	542	474	-	Buche-Edellaubholz	Kirsche (Sonderprod.)	-
Kamm	-	-	-	-	-	-
Steilhang	-	46	-	-	Edellaubholz, trockener	-

Im Bereich z.B. der reicheren Täler auf Kalk-Lößmischlehmen im Wuchsbezirk UW ist der vorrangige BZT demnach „Esche-Roterle“ und ist mit 104 ha vertreten. Die Zuordnung der anzubauenden Baumarten erfolgt demnach über das Ausgangssubstrat, dessen Nährstoffzustand und den Wasserhaushalt innerhalb eines Wuchsräume, der seinerseits durch klimatische Verhältnisse (z.B. Atlantizität und Vegetationszeit) definiert ist. Die aktuelle Einschätzung der anbauwürdigen Baumarten bedient sich nur noch der beiden Standortmerkmale Wasserhaushalt und Nährstoffversorgung, wobei impliziert ist, dass bestimmte Ausgangssubstrate eine bestimmtes Wasser- und Nährstoffangebot aufweisen; das Substrat wird also nicht ignoriert, sondern die entscheidenden, mit dem Substrat einhergehenden Merkmale werden herangezogen, um die sog. **Waldentwicklungstypen** (WET) -nach wie vor unter Berücksichtigung des Wuchsräume- zu definieren (STÜBER 2000, unveröffentl.). Eine anschauliche Gegenüberstellung nur der beiden Größen „Nährstoffversorgung“ und „Wasserhaushalt“ findet sich bei KOPP & SCHWANECKE (1994:112), die in der Formulierung von Stamm-Standortsformengruppen mündet. Unter Zuordnung von Zustands-Standortsformengruppen ergeben sich „Fruchtbarkeitsziffern für Holzmasse“, also ebenfalls waldbaulich-ertragskundliche Werte, die insofern mit den zuvor genannten WETs in Verbindung stehen, als dass WETs durch Wuchsleistungen bestimmter Baumarten(kombinationen) je Standort bedingt sind.

Standortsdaten werden auch verwendet **Weiserflächen** je Forstamt auszuwählen (BÖCKMANN & HÜSING 1999:299f). „Weiserflächen sind Probeflächen für die Forsteinrichtung und den ... Forstbetrieb. Sie sollen Kontrolle ... der Waldentwicklung über längere Zeiträume ermöglichen.“ Sie werden nach Pflegekonzepten behandelt. Forstamtsspezifische Wuchsverhältnisse dienen als Maßstab, es werden Bestandestypen mittlerer Standortverhältnisse gewählt.

3 PHYSISCH-GEOGRAPHISCHE KARTEN und FACHINFORMATIONSSYSTEME

3.1 Kartenwerke und Vergleich zur Standortstypenkarte

Eine Artikelsammlung zum Thema „Geowissenschaftliche Kartenwerke“ gaben BARSCH & RICHTER (1983) heraus. Unter anderem wurden Inhalte und Aufnahmemethode der Kartenwerke GK25, GÜK200, BK25 und GMK25 besprochen. Die Kartenwerke stellen dabei eine Grundlage zur Erfassung des „Naturraumpotentials“ dar. Das heisst, letztendlich soll ein größerer „Raum“ bewertet werden. Kleinräumige Einheiten, wie in den genannten Karten abgebildet, sind dafür die Grundlage. Insofern enthalten sie eine bewertbare Information. Dies entspricht den Einheiten in der FSK10, die vor allem das Potenzial des Standorts für den forstlichen Bestand ausdrücken sollen.

3.1.1 Bodenkarten und Geologische Karten: DGK5B, BK25, BK50, GK25

DGK5B

Vor dem Hintergrund der adäquaten landwirtschaftlichen Besteuerung wurde die Reichsbodenschätzung in den 30er Jahren durchgeführt; ihre Ergebnisse finden sich heute in der DGK5B, der exakten Deutschen Grundkarte 1:5.000 mit bodenkundlichem Inhalt. Bodenschätzungsdaten (nicht Karten) liegen für die gesamte landwirtschaftliche Fläche vor. Ihre vereinfachte digitale Aufnahme wurde bereits Ende der 80er Jahre bei der Finanzverwaltung vorgenommen (BOESS & KUES 1987:120).

Die DGK5B enthält auf die Acker- und Grünlandnutzung bezogene Bodenpunkte, die zwischen 0 und 100 rangieren. Ihnen sind Angaben zur Bodenart, Zustands- bzw. Bodenstufe, Bodenausgangsgesteinen (bezogen auf Acker) bzw. Klimastufe und Wasserstufe (Grünland) vorangestellt. Wegen des Gesichtspunkts der landwirtschaftlichen Bewertung betrug die Bohrtiefe nur 1 m (BOMBIEN & STOLZ 1993) und war somit im Vergleich zur FSK10 gering. Auch die Dichte mit 40.000 - 50.000 Punkten pro TK25, d.h. 3,3-4,1 Bohrungen je ha bei einer Größe der TK25 von etwa 121km² (KA3 1982:25) ist etwas geringer als die der Bohrungen im forststandörtlich kartierten Bergland im 100 m Abstand. NIESCHULZ (1997:21f) spricht allerdings von einer Dichte von etwa „neun Grablöcher je Hektar“ bei der Reichsbodenschätzung. Setzt man Grablöcher mit Profilen der Standortskartierung gleich, so sind die Relationen etwa 9 : 1 : 0,25 (Grablöcher : ha : Profile), denn bei der Standortskartierung in Niedersachsen wird etwa 1 Profil je 4 ha aufgenommen.

In den tieferen Lagen des Niedersächsischen Berglandes treten z.B. im Bereich von Parabraunerden auf alluvialen Terrassenkies unter Löß Werte von etwa 70 Bodenpunkten auf (L 4 Lö Al, Blatt 382016), wobei „L“ die Bodenart Lehm und der Wert 4 die Zustandsstufe mit einer mittleren Leistungsfähigkeit beschreibt. Die FSK10 müsste dort die Lagerungsklasse 16 ausweisen (Tab. 3), wenn die Feinbodendecke < 7 dm mächtig, nicht kalkhaltig oder basenreich ist und wenn es sich um arme, grobe Kiese handelte. Damit würde forstlich nährstoffbezogen ein tendenziell schlechterer Standort assoziiert, obwohl die Wasserversorgung günstig wäre.

Die möglichen sieben Zustandsstufen basieren auf Merkmalen wie Humus- und Kalkgehalt, Krümen- und Profiltiefe, Gefüge und Horizontierung (KA3 1982:306), d.h. bis auf die für Landwirtschaft relevante Krumentiefe sind Merkmale der forstlichen Standortskartierung vertreten. Im Grünlandbereich hebt die DGK5B auf Kriterien wie Jahrestemperatur (4 Klimastufenklassen) und fünf Wasserversorgungsstufen (günstig / ungünstig wegen Nässe oder Trockenheit) ab. In der expliziten Aussage nur zu der

vorgefundenen Nutzung ist aber eine Schwäche der Karte begründet. Die Bodenarteninformation für Grünland ist nur in 5 Klassen aufgeteilt, während das Ackerland mit 9 Klassen belegt werden kann, was bei Umwandlung zu einer Fehlinformation führen könnte. Umgekehrt stehen für Ackerflächen keine Klima- und Wasserangaben zur Verfügung, was allerdings wegen der in den letzten Jahrzehnten sehr seltenen Umwandlung zu Grünland nicht relevant gewesen sein dürfte. Diese Informationen, in Kombination mit Sondermerkmalen zur Nutzung, können z.B. beim Grundstückshandel als Grundlage dienen. Die Angabe von Bodentypen, der Reliefposition (z.B. Unterhanglage) und bodengenetischen Prozessen (z.B. mäßige Pseudovergleyung) bei der Darstellung repräsentativer Profile in DGK5B stellt dagegen eine standörtlich ausgerichtete Information dar.

Wenn auch in anderer Reihenfolge und Betonung sind die in der FSK10 berücksichtigten Merkmale bis auf eine konkrete Nährstoffkennzahl auch in diese für landwirtschaftliche Zwecke konzipierten Karte eingebracht: Das Substrat und die Lagerung und diverse Angaben zum Themenkreis „Wasser - Klima - Relief“. Das Fehlen der Nährstoffinformation ist abgesehen von der hauptsächlich anders determinierten Zustandsstufe mit der unterschiedlichen Bewirtschaftung zu begründen: Der selektiven, differenzierten Düngung in der Landwirtschaft, zumeist fehlender Düngung in der Forstwirtschaft.

BK25

Als Kernstück der bodenkundlichen Information gilt die Bodenkarte von Niedersachsen 1:25.000-Grundlagenkarte. Es lagen 1987 bereits 110 Blätter der maximal 435 Blätter gedruckt vor (FINNERN 1987). Die Bearbeitung folgt dabei dem Verteilungsmuster bereits vorhandener Blätter, was zu einer Blockung kartierter Räume führt. Größere Aussparungen finden sich im norddeutschen Tiefland.

Bei der Erarbeitung der BK25 werden verwandte Datenträger des Bereiches grundsätzlich mit einbezogen und auf sie verwiesen, wie z.B. für Bl. 4526 Gleichen: Die Bodenkarte auf Grundlage der Bodenschätzung (DGK5B), die wenn auch etwa 80 Jahre alte GK25 und die FSK10 der älteren Generation (1947-1969) des FOA Reinhausen fanden Berücksichtigung. Neben der Grundlagenkarte existieren für manche Blätter die Auswertungskarten „Wasser im Boden“ und „Landwirtschaftliche Nutzung und Bodenverbesserung“. Erstes basiert auf Attributen der Grundlagenkarte:

- Speichervermögen des Bodens für pflanzenverfügbares Wasser, nutzbare Feldkapazität, nFK
- Stau- und Hangnässe während der Vegetationsperiode
- Ökologische Feuchtestufe und ggf.
- Überflutungswahrscheinlichkeit während der Vegetationszeit und
- Wasserdurchlässigkeit, Wasserbewegung im gesättigten Zustand (k_f - Wert)
- Kapillarer Nachlieferung aus dem GW in den effektiven Wurzelraum und
- GW - Stand während der Vegetationsperiode

Die nutzbare Feldkapazität (nFK), die in fünf Klassen von < 50 mm bis > 200 mm angegeben wird, ist hier die Haupteigenschaft, der die Farbsignatur vorbehalten bleibt. Informationen zu Stau-, Hang- und Grundwasser treten dagegen etwas zurück, die zusammenfassende ökologische Feuchtestufe ist deutlicher vermerkt. Angaben zur Wasserdurchlässigkeit sind dagegen -vermutlich aufgrund weniger Meßdaten- besonders selten vorzufinden. Derartige Merkmale werden in der FSK10 durch die Wasserhaushaltskennzahl und deren Variantenangaben abgedeckt.

Die Intention der Betonung der „nFK“ wird im Zusammenhang mit den Begriffen „Vegetationszeit“ und „pflanzenverfügbar“ ersichtlich. Der Wertigkeit des Wassers als Steuergröße für die Pflanzenentwicklung wird hier Rechnung getragen, was mit der großen Bedeutung des Wasserhaushalts auch in der FSK10 korrespondiert.

Die BK25 gibt übergeordnet eine fortlaufende Kennzeichnung der Bodeneinheiten eines Blattes. Bodeneinheitenabgrenzungen sind dabei nach den in tabellarischen Legenden aufgeführten Attributen zu vollziehen. Einzelattributwerte, die die Einheit ausmachen, sind dort abgreifbar. Die FSK10 dagegen betont durch die Farbgebung die Substratverhältnisse und stellt durch weniger markante Signaturen (vgl. Tab. 3 und Tab. 5) und den Zahlen-Schlüssel die zuvor aggregierte Gesamtinformation bereit. Geländeaufnahmen sind von Seiten der Kriterien ähnlich weit gegliedert wie bei der BK25, die Karteninformation ist schließlich wegen des hohen Aggregierungsgrades weniger differenziert.

Zum Prinzip der Bildung, Benennung und Kennzeichnung von Bodeneinheiten wird in der Bodenkundlichen Kartieranleitung (KA3:265) der Unterschied zwischen groß- und kleinmaßstäbigen Karten angeführt: Während bei Maßstäben um 1:100.000 die Bodengesellschaften betont sind, ist die Ausrichtung zu speziellen „Differenzierungskriterien“ -wie z.B. Grenzflurabstand- bei größeren Maßstäben zu verzeichnen, wie es u.a. in der BK25 der Fall ist. Die andere Ausrichtung der Übersichtskarten wird auch im Zusammenhang mit der Kennzeichnung der Geländeaufnahmesituation deutlich: „In kleinmaßstäbigen Bodenkarten sind die Grenzen der Bodengesellschaften sogar häufig mit denen der Reliefformengruppen (z.B. Bergland, Hügelland) identisch“ (KA3:39), d.h. der großräumige Charakter findet hier Eingang in die Bodenpolygone.

Inhomogenität innerhalb schließlich abgebildeter Einheiten ist allerdings in allen Karten gegeben, was ein generelles Problem der Darstellbarkeit bzw. Generalisierung bei dem jeweils vorliegenden Maßstab ist. Verringerte Maßstabszahl impliziert allerdings größere Einheitlichkeit in der einzelnen Kartierfläche.

BK50

Im Gegensatz zur BK25 ist die BK50 von und Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen (BÜK50) flächendeckend analog und digital verfügbar (Nds. 131 Blätter). In Niedersachsen ist sie eine „durch die Auswertung der im NIBIS und im Archiv des NLFb vorhandenen bodenkundlich relevanten Daten entstandene Übersichtskartenserie, die speziell als bodenkundliche Informationsgrundlage für landesweite Planungen, u.a. im Rahmen des Landesraumordnungsprogrammes, konzipiert wurde“ (www.nlfb.de Stand 16.01.98). „Als Bodenübersichtskarte im Maßstab 1:50.000 ist die BÜK50 für die Landes-Raumordnungsplanung und die Landschaftsrahmenplanung relevant.“ (15.09.00).

„Das Bodeninformationssystem des Landes Nordrhein-Westfalen (BIS NRW) liefert die Informationsgrundlagen für die Maßnahmen im Bodenschutz“ (THIELE et al. 1994:19). Hier findet die digitale BK50 (BK50d) Eingang, die als sog. Flächenobjekte die Bodeneinheiten enthält (S. 23). Sie sollen zusammen mit den aus dem ATKIS-Volldatenbestand abgeleiteten Nutzungsarten für Bodenbelastungskarten genutzt werden, heisst es in der Vorstellung des BIS-Prototyps. HEIDBRINK (2000) erläutert die Erstellung von Bodenbelastungskarten, abgeleitet u.a. aus BK50-Informationen des Landes NRW. Aus der BK50 wird ein Auszug erstellt, der die oberflächennahen Gesteine abbildet. Karten der geschätzten Stoffgehalte können im Zusammenhang mit den Flächennutzungsplänen der Kommunen benutzt werden.

Beispiele der Verwendung der BK50 des Landes NRW gibt auch SCHREY (2001:212f): Je nach Funktion der Böden als „natürlicher Lebensraum“, „Produktionsgrundlage für die Landwirtschaft“ oder als „Archiv und Dokument der Natur- und Kulturgeschichte“ werden bestimmte Böden wie z.B. Moorböden oder Böden aus Vulkaniten in Auswertungskarten bereitgestellt. „Der Erhebungsmaßstab 1:50.000 läßt die Darstellung lokaler Besonderheiten nicht zu.“ Somit seien für bestimmte Zwecke großmaßstäbigere Karten einzusetzen bzw. Bewertungsmethoden dahingehend zu modifizieren. Zur Zeit wird geprüft, welche Ergebnisse sich bei der Verwendung der BK50 (analog oder digital) als bodenkundliche Grundlage zur Forstlichen Standortklassifikation erzielen lassen (SCHULZ & ASCHE 2000).

Die Inhomogenität im Aufbau der Bodenkundlichen Kartenwerke kommt z.B. darin zum Ausdruck, dass das Land Rheinland-Pfalz zum Zeitpunkt Juni 2001 lediglich für drei Blätter die Veröffentlichung der BK50 in Vorbereitung hatte, für ein Blatt war die Kartierung in Bearbeitung (www.gla-rlp.de). In Baden-Württemberg existiert kein bodenkundliches Kartenwerk im Maßstab 1:50.000, hingegen eines im Maßstab 1:25.000, wobei etwa 1/3 der Blätter fertig gestellt oder in Bearbeitung sind (www.lgrb.uni-freiburg.de). In Hessen ist eine BK50 digital vorhanden, allerdings anscheinend in geringer Auflösung, wie es FRIEDRICH et al. (1999:1026) für ihr forstliches Teiluntersuchungsgebiet im Lahn-Dill-Bergland feststellen. 1997 hat das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung (NLFb) eine CD „Böden in Niedersachsen: Digitale Bodenkarte 1:50.000 und Bodenübersichten, Datenbank repräsentativer Profile. Abfragemöglichkeiten, Online-Texte zu den wichtigsten Böden und Bodenlandschaften.“ herausgegeben und so einen Schritt in Richtung der Veröffentlichung von Bodendaten getan.

GK25

Da die Geologische Karte 1:25.000 (GK25) in dieser Arbeit verwendet wird, ist sie in Abschnitt 5.3 „Datenbasis“ erläutert und dort vor dem Anwendungshintergrund bewertet worden. Vorauszuschicken ist: „Die geologische Karte kann kein vorweggegebenes Universalgutachten sein, sondern sie muss die geologischen Gegebenheiten in einer neutralen, allgemeingültigen Weise darstellen.“ (HINZE 1983:25).

3.1.2 Geomorphologische und Geoökologische Karten: GMK25, GMK100, GÖK25

Umfassende geomorphologische Inhalte trägt die Geomorphologische Karte der Bundesrepublik Deutschland 1:25.000 bzw. 1:100.000 (GMK25, GMK100), die von Ende der siebziger bis Ende der achtziger Jahre im Rahmen eines Schwerpunktprogramms der DFG erstellt wurde (BARSCH & LESER 1987, LIEDTKE 1988). Heute liegen 27 Blätter der GMK25 und 8 Blätter der GMK100 vor. Frühzeitig war klar, dass es sich nicht um den Aufbau eines vollständigen Kartenwerkes handelte, vielmehr war man an einem Abgleich geomorphologischer Kartiergepflogenheiten und –inhalte interessiert und daran, blattweise systematisch zu kartieren (LESER 1974:309).

Unter den durch Musterblätter behandelten geomorphologischen Landschaftstypen sind mit 3923 Salzhemmendorf (LEHMEIER 1981a, b, größtenteils Wuchsbezirk Unteres Weserbergland (UW)), Goslar (4028), Damme (3415) und Sooden-Allendorf (4725, Hessen, nah Niedersachsen) auch einige mit Bezug zu niedersächsischen Forsten vorhanden. Daher können Vergleiche FSK10-GMK25 angestellt werden. Anhand des für das Niedersächsische Bergland typischen Blattes 3923 wird beispielhaft das Konzept der GMK25 bei HAGEDORN & LEHMEIER (1983) vorgestellt:

„Die GMK25 vereinigt als komplexe geomorphologische Karte die Darstellung der Morphographie, der Morphogenese und der Morphodynamik in einem Blatt. Dabei werden acht Informationsschichten, davon drei mit flächenhafter Darstellung, graphisch überlagert.“ (zit. nach STÄBLEIN 1980).

Innerhalb der fünfzehn in der Hauptlegende der GMK25 enthaltenen Themenbereiche („Positionen“) finden sich morphographische Angaben wie Neigungen, Stufen und Kanten, Täler und Tiefenlinien und Kleinformen. Desweiteren wird das Substrat und oberflächennahe Gestein abgebildet. Gegenüber der GK25 ist das Verwitterungsmaterial dargestellt und die Petrographie der Lockergesteine besser differenziert (HAGEDORN & LEHMEIER 1983:70), was einer Nutzung im Sinn der Substrat / Lagerungsinformation der FSK10 entgegenkommen würde. Die Darstellung differenzierter Lockersubstratinformation, die von Ton über sandigen Lehm bis hin zu Blockhalden führen kann und wegen ihrer weitgehenden Einteilung in zweiundzwanzig Klassen für Kartierungen in Nachbardisziplinen verwendbar ist, geht aber mit kartographischen Problemen einher: Bei thematischer Vielschichtigkeit einer Karte und großer Klassenzahl je Schicht resultiert mindere Lesbarkeit.

Parallelen bestehen zur FSK10-Standortkomponente Substrat, die für das Niedersächsische Bergland in sieben Klassen geteilt ist (2.3.2.1). Die zuvor genannten „Blockhalden“ würden der Klasse 1 „feinbodenärmste Decken“ angehören, während für das Lockersubstrat Ton eine Klasse 5 „Tongesteine“ besteht, die allerdings nicht nur impliziert, dass dort toniges Lockermaterial größerer Mächtigkeit vorliegt, sondern der Standort auch auf (kalkhaltigem) Tongestein aufgebaut sein kann.

Kombiniert man GMK-Lockersubstrattypen mit Prozeßbereichen, kann man FSK10-Klassen assoziieren:

- toniger Schluff, Lößlehm / äolisch ~ Substratklasse 3, Lössen oder ähnliche feinkörniges Sedimente
- sandig-schluffiges Material / äolisch, kryogen
~ Substrat / Lagerungsklasse 22, basenarme Silikatgesteine mit lehmig-sandigen Decken
- sandiger Lehm / fluvial ~ Substratklasse 7, Kolluvium, Alluvium

Im Kontext der Kartierung von Tälern und Rücken in der Standortstypenkarte (7.2) enthält auch die GMK einige Informationen. Werden sie zu den vorgenannten Informationen des Substrats und der Genese hinzugezogen, kann auch auf Wasserhaushaltsklassen der FSK10 geschlossen werden (vgl. Tab. 5). Beispielsweise kann das Auftreten einer „kastenförmigen Tiefenlinie“ mit einer Breite von weniger als 25 m oder ein Sohltal von 25-100 m Breite zusammen mit fluvial abgelagertem, sandigem Lehm auf die Wasserhaushaltsklasse 5 (Grundwasser 60-100 cm u. GOF) hindeuten. Denn oftmals ist in flacheren Talsohlenabschnitten der Grundwasserstand so hoch, dass die Klasse 5 gerechtfertigt ist.

Das Problem aber der klaren Abgrenzung eines Tals zu benachbarten Vollformen und auch die Unterscheidung der Talformen als solche nach dem Querprofil (Kerbtal, Muldental etc.) wird bei HAGEDORN & LEHMEIER (1983:68f) dargelegt. Der Mangel an Schwellenwerten und die Diskrepanz zwischen morphographischer und morphogenetischer Abgrenzung im Fall der GMK25 und zwischen morphographischer und forststandörtlicher Abgrenzung im Fall der FSK10 macht beide Kartierungen problematisch. Bei welchen Wölbungsradien sollten in der GMK25 unterschiedliche Signaturen verwendet werden? Wann sind konvex gewölbte Reliefelemente forststandörtlich bereits „Rücken“ und wann nur konvexe „Hang“partien? Wie sind Kuppen je nach ihrer Basisbreite in der GMK darzustellen und in welchem Fall sind Kuppen so markant, dass sie als eine vom Hang abweichende BFG-Klasse (26

oder 27, Tab. 5) in der FSK ausgewiesen würden? Dererlei Probleme der Bewertung und Darstellung der Geländeform sind beiden Kartenwerken gemein.

Die GMK25 betont die Ausweisung geomorphologischer Prozeßbereiche mit bis zu sechzehn Klassen (z.B. denudativ, kryogen) durch eine flächige Farbsignatur und stellt die rezenten Prozesse mit ebenfalls maximal sechzehn Klassen wie Rinnenspülung und Seitenerosion dar. Diese Betonung wird bei HAGEDORN & LEHMEIER (1983:74) bemängelt, da die Morphogenese für Praxisanwender am wenigsten bedeutsam ist.

Der Anwendungsbezug der GMK25 ist vielfältig (MÄUSBACHER 1985:13ff). Er gliedert in die eigentlichen, abgebildeten Reliefmerkmale und deren Funktion (Parameter des Landschaftshaushalts). Beide haben entweder direkt oder indirekt Bedeutung für bestimmte Fachbereiche. Dem Merkmal Exposition beispielsweise billigt er unmittelbar Bedeutung für „Bodenkunde“ und „Erholung“ zu, während die Exposition über ihre Funktion Besonnung (Strahlung) dem Anwendungsfeld „Erholung“ zugeordnet ist, aber über die Funktion Bodenentwicklung dem Anwendungsfeld „Bodenkunde“. Nur indirekt nimmt das Merkmal Exposition beispielsweise über die Funktion Verdunstung Einfluß auf die Hydrologie. Das Merkmal kann nur indirekt einwirken, die direkte Wirkung geht von der Funktion aus. Direkte Wirkung im Anwendungsfeld der Forstwirtschaft haben demnach folgende Reliefmerkmale der GMK25 und deren Funktionen (Auszug MÄUSBACHER 1985):

Merkmal	Funktion	Merkmal	Funktion
Höhe ü.NN	Temperaturverteilung	Täler, Tiefenlinien	Bodenauftrag
Exposition	Besonnung (Strahlung)	Kleinformen	Bodenwasserbilanz
Wölbung	Verdunstung	Hangneigung	Abtrag durch Kriechsturz
Stufen	Bodenabtrag	Oberflächennaher Untergrund	Befahrbarkeit
		Hydrographie	Begehbarkeit

Der Zusammenhang zur Forstlichen Standortstypenkarte in einer Reihe von Höheninformation - Relief - Reliefmerkmal – ökologische Funktion – Standorteinheit – Anwendung wird deutlich, wenn man die Anwendungsfelder der Standortstypenkarte im Forstbereich betrachtet (2.3.5).

Die **GMK100** bildet Teile des Niedersächsischen Berglandes in Blatt C4722 Kassel ab. Das FOA Bramwald ist vollständig erfaßt (Abb. 1). Wegen der Diskrepanz der Maßstäbe von 1:10.000 bis 1:100.000 kann kein genauer Vergleich angestellt werden. Es ist nicht möglich, Inhalte der GMK100 lagegenau in forstliche Standorteigenschaften zu übertragen. Der Charakter des Forstamts im allgemeinen kann aber abgeschätzt werden: Man erkennt als Prozeßbereiche die hochgelegenen tertiären Verebnungen und daran anschließend die stark geneigten Hangpartien (15-35°). Sie sind durch markante Kerbtäler zerschnitten. Der Wechsel zwischen Ebene und Hang wird durch zahlreiche Kanten unterschiedlicher Höhe verdeutlicht (20-100 m, >100 m). Ihre Anordnung läßt vielfach auf die Geländeformklasse „Rücken“ der FSK10 schließen (GÖS 2000 im Anhang und 2.3.2.2). Das oberflächennahe Festgestein „Sandstein“ gibt Hinweise auf die Substratklasse 2 „basenarme Silikatgesteine“. Die hochgelegenen Lößvorkommen im FOA Bramwald sind allerdings nicht abzuleiten, da sie dem Generalisierungsgrad der GMK100 zum Opfer gefallen sind.

Die geomorphologische Übersichtskarte 1:50.000 zu Bl. 4325 Nörten-Hardenberg der Geologischen Karte von NDS 1:25.000 umfasst weitere Berglandbereiche (BRUNOTTE, GARLEFF & JORDAN 1985).

Die Entwicklung einer **digitalen geomorphologischen Basiskarte** propagieren BARSCH & DIKAU (1989). Sie betonen die Problematik auf der „Abbildungsebene“ (nicht „Darstellungsebene“), denn es muss „ein Kontinuum statisch und dynamisch gegliedert werden, ...“ (S. 13). Die Vielfältigkeit der Kriterien zur Definition, d.h. der Typisierung eines geomorphologischen Objekts wird herausgestellt: Sowohl die Geometrie und das Baumaterial als auch rezente und historische Prozesse können typisierend herangezogen werden. Differenzierter dargestellt ist ein digitaler „Geoobjekttyp“ durch

- a geomorphographische Eigenheiten,
- b das Substrat (oberflächennaher Untergrund),
- c geomorphogenetisch,
- d geomorphodynamisch und/oder
- e geomorphochronologisch

zu beschreiben (BARSCH & DIKAU, S. 16). Forstliche Standortmerkmale werden zum Großteil durch Begriffe aus diesen Bereichen umschrieben. Unter Punkt a fällt etwa der Begriff „Rücken“, unter b „Blockhalden“, unter c die „Fließerde“, die kryogen entstanden ist, unter d das „Kolluvium“, das rezenter Hangabspülung entstammt und unter e die Mehrschichtigkeit eines Profils. Insofern wird deutlich, dass bei der Erstellung der GMK25 -analog oder digital- und bei der FSK10 verwandte Kriterien und Arbeitswege herangezogen werden, wenn auch bei der FSK10 damit andere Ziele, die sich in den endgültigen Werten widerspiegeln, verfolgt werden.

GÖK25

Ist die Forstliche Standortstypenkarte eine Geoökologische Karte (GÖK) ? Diese Frage ergibt sich in Anbetracht der Kriterien, die eine solche Karte erfüllen sollte. LESER & KLINK (1988) gaben das Handbuch und Kartieranleitung GÖK 1:25.000 (KA GoeK25) heraus: Die GÖK25 „... verfolgt das Ziel, die geoökologische Bestandesaufnahme im Maßstab der Geokartenfamilie (GK25, BK25, GMK25) vorzunehmen.“ „Wesentliches Ziel der GÖK25 ist die Ausscheidung von geoökologischen Raumeinheiten als Grundlage verschiedener Auswerte- und Bewertungsarbeiten.“ (S. 29, 47). Bewegt man sich auf einer räumlichen Betrachtungsebene, so ist der Untersuchungsgegenstand im Fachbereich Biologie das Phyto- und Zootop, im geowissenschaftlichen Fachbereich das Morpho-, Pedo-, Hydro- und Klimatop. Auf funktionaler Betrachtungsebene stehen dem „-zönosen“ und „-systeme“ gegenüber (S.39).

Unter dem Gesichtspunkt der Ausdehnung bzw. Dimension der Geländemerkmale (Objekte ?) stellen LESER & KLINK die GÖK25 in den Bereich topisch bis chorisch (S. 321). Geotope bzw. Ökotope repräsentieren dabei die kleinere Dimension, Kleinverbände bilden dagegen die mikrochorische Dimension ab. Wenn dies mit dem Maßstab 1:25.000 einhergeht, Tope und Mikrochoren also in diesem Maßstab sinnvoll abzubilden sind, widerspricht das zwar nicht der vorgenannten Idee, die „Geokartenfamilie“ GK25, BK25 und GMK25 zu ergänzen. Es steht aber den Aussagen von HAASE et al. (1985), die Nano- bzw. Mikrochoren im Maßstab 1:50.000 bis 1:200.000 kartiert sehen wollen, entgegen (3.1.3). Hier wird die Schwierigkeit der naturräumlichen Kartierung, der Ausgleich zwischen Kriterien, der Ausdehnung der Objekte und dem Maßstab, deutlich.

Die Forstliche Standortstypenkarte bewegt sich in den meisten Bundesländern mit ihrem Maßstab von 1:10.000 im Rahmen der Ausweisung von Topen. Auch die Nennung von „materiellen Merkmalen“ bei LESER & KLINK (S. 321) spricht dafür: Tope weisen ein „homogenes stoffliches Geosystem“ aus, Mikrochoren ein „spezifisches heterogenes stoffliches System“ und Mesochoren hingegen schon ein „vielseitiges heterogenes stoffliches System“.

ZEPP & STEIN (1991) verweisen auf den Richtlinienkatalog von HAASE et al. (1985) und meinen, dass dort ein „eher synthetischer“ Ansatz zur Bildung und Kennzeichnung von Naturraumtypen vorliegt. Die landschaftsökologische Aufnahme von Struktur- und Prozeßgrößen, wie sie in der Kartieranleitung bei LESER & KLINK für die GÖK25 zu finden ist, stehe dagegen für ein „analytisches“ Vorgehen (S. 94). Diese Meinung kann aber nur geteilt werden, wenn man dem „analytischen“ eine starke bewertende Komponente beimißt, die über ein Zusammenstellen der angenommenen Faktoren hinausgeht. Ob dies in der GÖK-Planung impliziert ist bzw. war, ist fraglich.

Folgende Übersicht zeigt die „Geoökofaktoren“, wie sie bei LESER & KLINK (1988) vorgestellt werden:

Faktor	Georelief	Boden	Bodenwasser	Oberflächen- gewässer	Geologischer Untergrund	Klima	Vegetation	Anthropogene Einflüsse
Parameter bzw. Einzelwert	Täler	Bodenart	Grundwasser- flurabstand	Quelle	Anstehendes Gestein	Einstrahlung	Naturnahe Wälder, Forste	Hemerobie- stufen

Mit Ausnahme der Vegetation und der anthropogenen Einflüsse sind die genannten Faktoren auch für die Forstliche Standortskartierung in dem Sinn bedeutsam, dass die Kenntnis der Parameter bzw. einzelner Werte zu unterschiedlichen Standortklassen führt. Die Vegetation wird aber anders eingeordnet: Während sie in der GÖK25 ein Baustein neben den anderen ist, ist sie in der FSK10 des Landes Niedersachsen, zumindest was forstlich relevante Baumarten angeht, der Bewertungsmaßstab, anhand dessen die Faktoren beurteilt werden⁴. In der FSK10 würde nicht der Wert „Naturnahe Wälder“ oder „Forst“ auftreten; in diesem Kontext ist die FSK10 zwar anwendbar, sie stellt aber nicht die eigentliche Wertung des Standorts dar. Vielmehr tritt „Vegetation“ in dem Prozeß der Herleitung der Standortklassen auf, indem Artenvorkommen und Zustand als Zeiger verwendet werden.

Es gibt bei der GÖK-Aufnahme einen besonderen beachtenswerten Aspekt: „In der Kartieranleitung ist als landschaftsstrukturierender Faktor (Geoökofaktor) neben dem Georelief, dem Boden, dem Bodenwasser, den Oberflächengewässern, dem geologischen Untergrund, dem Klima und der Vegetation auch der anthropogene Einfluß als Bestandteil der Landschaftsaufnahme vorgesehen. Die Grundidee besteht in der Aufnahme anthropogener Einflüsse nach Hemerobiestufen bzw. Natürlichkeitsgraden.“ (ZEPP & STEIN 1991:94). Hemerobiestufen sind Stufen der Prägung der Landschaft durch Kultureinwirkung⁵.

Es werden sieben Hemerobiestufen angeführt, die von „ahemerob“ bis „metahemerob“ rangieren. Bezügliches des Merkmals „Untergrund und Relief“ bedeutet metahemerob, dass ein z.B. „künstliches, oft überhöhtes Relief“ vorliegt (S. 100). Das einzige quantitative Merkmal ist das prozentuale Auftreten von Neophyten. Andere Merkmale wie Nutzungstypen und Vegetationsmerkmale werden „qualitativ verbal ausgedrückt“ (S. 98).

⁴ Andere Bundesländer wie z.B. NRW nennen die Vegetation in Form von Waldgesellschaften.

⁵ Bsp. aus der Botanik: Hemerophyten ~ Pflanzen, die Kulturlandschaften bevorzugen.

Die heutigen Forsten im südniedersächsischen Bergland sind m.E. mehrheitlich in die Stufe 3 „mesohemerob ~ halbnatürlich“ oder 4 „beta-euhemerob ~ bedingt naturfern“ einzuordnen. Es existieren „forstlich genutzte Bestände mit hohem Anteil bodenständiger Holzarten“ bei „regelmäßiger Durchforstung“ (3) und selten „überwiegend gleichaltrig aufgebaute, standortfremde Forstmonokulturen“ bei „überwiegend Kahlschlagwirtschaft“ (4). Der Stufe 3 wird ein Neophytenanteil von 5-12 %, der Stufe 4 von 13-20 % zugebilligt (S. 216).

Die Problematik geoökologischer Kartierung in intensiv genutzten Agrarlandschaften ist Hauptgegenstand der vorgenannten Arbeit. Am Beispiel der TK25 5307 Rheinbach wird angeführt, landwirtschaftliche Räume ließen bei flüchtiger Betrachtung landschaftsökologische Eintönigkeit vermuten. Dies trafe aber nur zu, solange man andererseits die Kartierung von nicht-naturfernen Räumen als ergiebiger und interessanter einschätzt. Sobald aber der Aspekt der Festlegung von Hemerobiestufen dazukommt, wird die geoökologische Kartierung komplexer und der zu kartierende Raum präsentiert sich differenzierter.

Die Inhalte der GMK genügen, um den Anforderungen der GÖK an die Abbildung des Georeliefs gerecht zu werden. Ähnliches gilt für den oberflächennahen Untergrund (LESER & KLINK S. 49). Eine sehr enge Bindung von Geoökotopen (Raumeinheiten mit einem eigenständigen Landschaftshaushalt) an Geomorphotope besteht. Diese sind z.B. für das Wasserpotenzial und das biotische Ertragspotenzial bedeutsam. Geomorphographische Merkmale regeln die Prozesse und zwar vorzugsweise durch die Hangneigungsstärke und die Wölbung (S. 43ff). LESER (1980) diskutiert die Bedeutung der Wölbung, die in geomorphologischen Karten abzubilden ist, im Zusammenhang mit der Abgrenzung von geoökologischen Einheiten.

Man erkennt den umfassenden Charakter der GÖK25. Durch die stärkere Berücksichtigung der anthropogenen Veränderungen geht die geoökologische Karte weiter als die Standortstypenkarte; in sie sind derartige Veränderungen zwar auch eingearbeitet, so z.B. durch die Kodierung A₁, A₂, P₁, P₂, S₁, S₂ und y (GÖS 2000), die zu separaten Einheiten (Polygonen) führen. Aber dieses Gliederungskriterium ist in seiner Bedeutung weit nach hinten gestellt, was sich auch darin äußert, dass es sich nur um Variantenangaben zu der vorgeordneten Komponente Substrat / Lagerung handelt. Sicher hängt diese Form der Bewertung mit den i.d.R. geringen Flächenanteilen anthropogen geprägter Böden unter Wald zusammen. Dabei ist allerdings zu hinterfragen, wie stark ehemalige landwirtschaftliche Nutzung in der Umgebung heutiger Wüstungen (z.B. Solling) oder der Bergbau im Harz zur Veränderung heutiger Waldstandorte beigetragen haben.

Die Arbeiten zur GÖK25 ergaben kein Kartenwerk wie das der GK25, der BK25 oder auch nur der mit wenigen Blättern vertretenen GMK25. Mutmaßlich haben die Schwierigkeiten bei der Wertung der gemeinhin bekannten geoökologischen Faktoren und die finanzielle Fokussierung auf etablierte Kartenwerke die Produktion der GÖK25 gehemmt.

Anschließend an die Arbeiten der 80er Jahre beschreibt HUBER (1994) die Konzeption, die GIS-Methodik und Anwendungsbeispiele zur digitalen geoökologischen Karte. Entgegen der vorliegenden Arbeit betont er den Prozeß, der zu dem Vorhandensein bestimmter Merkmale der Geosphäre führt. Das Problem der abschließenden Zusammenführung einzelner, auf verschiedensten Wegen hergeleiteter Informationen, die auch immer mit einer Wertung und Gewichtung einhergeht, wird auch dort deutlich.

Zu Begriffen wie Geoökosystem, Geotop, Ökotope oder Geoökotope und zu der „ausgeprägten Neigung der Geoökosystemforscher ihre ‚Systeme‘ zu verräumlichen“ äußert sich MENTING (2001). Dort wird die Meinung vertreten, „Ökosysteme sind keineswegs ... ‚Räume‘ oder ... zusammenhängende ... Einheiten ...“. Ob in diesem Zusammenhang Forstliche Standorte „Einheiten“ oder „Tope“ sind muss hier nicht diskutiert werden; es ist das Ziel, forstlich relevante Merkmale herzuleiten und diese zumindest kartographisch in Einheiten abzubilden, da das notwendig ist, um der Forstwirtschaft operational nutzbare Daten bereitzustellen.

3.1.3 Kleinmaßstäbige Karten verschiedener Thematik

Im allgemeinen wird Zweiphasigkeit der Forstlichen Standortkartierung propagiert (2.3.1). Sie besagt, dass zuerst regionale Einheiten (Wuchsräume) und dann darin lokale Einheiten (Standorte) ausgewiesen werden; Wuchsräumgliederungen sind Bestandteile der Standortkartierung im weitesten Sinn, da Örtlichkeiten bezüglich der Wachsfaktoren beschrieben werden. Die Geographische Landesaufnahme, **Naturräumliche Gliederung Deutschlands 1:200.000** und die aktuelle **Wuchsbezirkkarte 1:500.000** sind in ihrer Konzeption verwandt. Karten der Wuchsräume nach GÖRGES im Maßstab 1:600.000 wurden vom NFP bereits Anfang der 70er Jahre herausgegeben.

Die Blätter Halberstadt (SPÖNEMANN 1970) und Göttingen (HÖVERMANN 1963) der Geographischen Landesaufnahme verdeutlichen die Gliederung des Niedersächsischen Berglandes und des Harzes. Kriterien der Geographischen Landesaufnahme werden im folgenden deutlich: „Naturräumliche Einheiten sind Teile der Erdoberfläche mit einem einheitlichen Gefüge, das sich aus der räumlichen Verteilung und Vereinigung ihrer natürlichen Bestandteile ergibt. Diese Bestandteile sind die aus Gestein und Oberflächenform gebildete Bodenplastik (Bodengestalt), das Regionalklima, der Wasserhaushalt, die Böden, die Pflanzen- und Tierwelt.“ (HÖVERMANN 1963, Kartenblatt). Es gibt linienhaft festlegbare Grenzen naturräumlicher Einheiten 1. bis 7. Ordnung; die 1. Ordnung trennt in Südniedersachsen z.B. den Harz von seinem Umland. Eine Linie 4. Ordnung umfasst beispielsweise den „Solling, Bramwald und Reinhardswald“. Dieser Raum wird u.a. in den „Nördlichen Solling“ und den „Kuppigen Solling“ gegliedert, wobei letzterer dem Bergland im Sinn dieser Arbeit zugeordnet ist, ersterer aber der eigentliche Solling ist. Das Validierungsgebiet liegt auf der Grenze beider (vgl. Abb. 3). Insofern korrespondieren hier Wuchsräumgliederung und Landesaufnahme.

Geochoren standen in der **Naturräumlichen Gliederung der DDR** im Mittelpunkt (HAASE et al. 1985). Es werden Richtlinien für die Bildung und Kennzeichnung der Kartiereinheiten der Naturraumtypen-Karte der DDR im mittleren Maßstab vorgestellt. Erfahrungen aus der „Forstlichen Standorterkundung und der Mittelmaßstäbigen Landwirtschaftlichen Standortkartierung“ sind berücksichtigt (S. 7). Sollen Kartiereinheiten im Maßstab 1:50.000 ausgewiesen werden, so werden Nano-Choren definiert. Dafür sind Geotop-Kombinationen „wesensbestimmendes Hauptmerkmal“. Dabei werden sowohl „Gefüge- als auch Inventareigenschaften“ verwendet (S. 23, 35). Im Maßstab 1:100.000 bzw. 1:200.000 arbeitet man mit Mikro-Geochoren. Dies können auch sehr große Nano-Geochoren sein, Geotope hingegen nicht mehr.

Nanochoren-Kombinationen bauen i.d.R. die Mikro-Geochoren auf. Mikrochorentypen bilden die größere Einheit. Mikrochorentypen sind z.B. „Bergrücken im Hügelland“ und „Täler im Hügelland“. Diesem Muster wird ein sehr differenzierter Merkmalskatalog hinterlegt, gegliedert nach Leitmerkmalen und Ergänzungs- und Zusatzmerkmalen. Ein Leitmerkmal ist z.B. die Reliefformenkombination. Zwei Werte der möglichen Reliefformen sind z.B. „Rückenhügel“ oder „Kammerbergrücken“ (S. 53). Zu den Ergänzungsmerkmalen gehört z.B. der „Grad der Arealheterogenität“, der sich aus den Anzahl der Geotope und der Häufigkeit des bestimmenden Geotops ableitet. Die ausladenden Tabellen der Klassifizierungsmerkmale und die Verweise auf das sog. Baukastenprinzip (S. 8) lassen auf eine vollständige und schematische Gliederung schließen. Das Problem der Definition eines Geotops - wie werden seine Grenzen gezogen ? - bleibt aber erhalten, vor allem bei schwer meßbaren Größen wie denen der Geländeklimatologie.

Als **geologische Übersichtskarte** dient ein Kartenwerk im Maßstab 1:200.000 (GÜK200), das für die Bundesrepublik aus knapp 60 Blättern aufgebaut wird. Um geringmächtige quartäre Deckschichten und auch den Untergrund ausgewogen wiederzugeben, ist die Karte als 2 m-Karte erarbeitet worden und somit sind auch Zweischichtenfälle enthalten; zuweilen wird das Gestein in mehr als 2 m Tiefe herangezogen. Derartige Information ist relevant, wenn man Niedersachsen forstlich großräumig nicht nur klimatologisch, sondern auch bodenkundlich gliedern wollte. „In Niedersachsen diente die Karte als Basiskarte der Karten des Naturraumpotentials von Niedersachsen und Bremen.“ (MEYER 1983:27ff).

Erläuterungen zu Ableitung und Inhalt der **Bodenübersichtskarten** 1:200.000 und 1:500.000 des Landes Niedersachsen werden von GEHRT & SBRESNY (1999:63) gegeben: Voraussetzung für die Produktion war die Fertigstellung der Bodenkarte im Maßstab 1:50.000 (BÜK50) im Jahr 1996. Systematiken zur pedoregionalen Gliederung und Regeln zur Bildung von Bodengesellschaften wurden aufgestellt. Somit können die Übersichtskarten „ohne aufwändige manuelle Überarbeitung“ abgeleitet werden. Dazu werden in der BÜK50 „gewichtete“ Grenzen eingeführt. GEHRT & SBRESNY erläutern sog. Aggregationsstufen einhergehend mit Maßstabebenen, wobei bis zum Maßstab 1:50.000 die „topologische“ (topische ?) Dimension betrachtet wird. Hierzu gehören die Begriffe Pedotop und Leitbodengesellschaft. Wird das Verbreitungsgebiet eines Gesteins anstatt der Bodenformen das wichtige Kriterium, so gelangt man in die chorische Dimension, es gilt nunmehr das „landschaftliche“ Prinzip der Arealbildung. Dies geht etwa mit dem Maßstab 1:500.000 einher, also der Größenordnung, die auch bei forstlichen Wuchsraumgliederungen angesetzt wird. Bei noch kleinerem Maßstab sprechen GEHRT & SBRESNY von der regionischen Dimension: Geologische, morphologische und klimatische Definitionen liegen dem zugrunde. So gesehen kann eine forstliche Wuchsraumgliederung als eine regionische Untergliederung bezeichnet werden. Der Begriff „Aggregation“ wird bei GEHRT & SBRESNY anders verwendet als in der vorliegenden Arbeit, denn hier dient er einer inhaltlichen Differenzierung, die sich ausschließlich innerhalb des Maßstabs 1:10.000 bewegt (6.1.4).

Klein- und mittelmaßstäbige Informationen aus dem **Bereich „Klima“** liegen in Klimaatlantaten vor. Sie können bundesweit (1:1 Mio) oder nur landesweit (1:200.000 - 500.000) ausgelegt sein; für Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen bestehen solche Werke bzw. werden z.Z. digital aktualisiert. Forstlich bedeutsame Informationen sind darin durchaus enthalten, wie z.B. phänologische Angaben und Angaben zu Zeiträumen einer bestimmten mittleren Mindesttemperatur. Sie können Grundlage für forstliche Wuchsraumgliederungen sein.

WOLFF et al. (1999) informieren über Arbeiten zur länderübergreifenden **Vereinheitlichung der Wuchsgebiete**. Ein Entwurf von August 1998 zeigt die geplante Untergliederung. Große Teile des in dieser Arbeit betrachteten „Berglandes“ liegen im Wuchsgebiet „Weserbergland“, was im Westen aus Bereichen Nordrhein-Westfalens aufgebaut wird. Ansonsten wird das Untersuchungsgebiet vom Wuchsgebiet „Süd-niedersächsisches Bergland“ integriert (vgl. Abb. 3).

3.1.4 Abschließende Einordnung

Nach der Vorstellung der Kartenwerke und dem Vergleich zur FSK stellt sich die Frage, warum eine FSK produziert wird, obwohl andere Karten viele ähnliche Aspekte beinhalten.

Tab. 10: Parallelisierung von Kartenwerken, physisch-geographische Informationen und FSK10.

Kartenwerk	Komponente	Beeinflusste, parallelisierte Komponente der FSK10	Spezifizierung der FSK10-Komponente
GK25	Petrographie	Substrat, Nährstoffversorgung	ein Teilaspekt der Substrat / Lagerungsverhältnisse, z.B. unterlagerndes Gestein
BK25	Bodenart, Entwicklungstiefe	Substrat	ein Aspekt der Substrat / Lagerungsverhältnisse, z.B. auflagerndes Lockermaterial
GMK25	Bodenart, Festgestein, Morphogenese, Strukturformen, Tal- und Kleinformen	Substrat, Wasserhaushalt	Substratklasse, Geländeformklasse, z.B. „Rücken“ Bodenfeuchteklasse, z.B. „frisch“
GÖK25	s.o., zusätzlich Vegetation und anthropogene Prägung	Wasserhaushalt	Bodenfeuchteklasse, s.o.
„Klima“	Niederschlag	Wasserhaushalt	Gesamtwasserhaushalt

Der fachliche Grund ist zusammenfassend, dass die FSK sowohl geologische, bodenkundliche als auch geländeklimatische und klimatische Größen integriert und dies für den Bereich der Geosphäre, der für das Baumwachstum, also den Bestand, relevant ist. Das unterlagernde Festgestein bzw. mächtige Lockergestein ist Gegenstand der GK25, die Bodenmerkmale sind in der BK25 abgebildet, bestimmte Relief- bzw. Lageparameter sind wichtige Bausteine der GMK25. Zusätzlich bauen geländeklimatische und anthropogene Merkmale die GÖK25 auf. Relativ einfach meßbare Einzelgrößen sind Inhalt von z.B. Klimaatlant (s.o.). All dies wird -mehr oder minder betont- in der Forstlichen Standortstypenkarte integriert, bewertend klassifiziert und damit leider auch nicht wieder separierbar wiedergegeben. Es wird also ein *Standort* im Hinblick auf die *Waldnutzung im weitesten Sinn* beschrieben. Diese Betonung wird auch in Abschnitt 2.3.5 deutlich. Passend ist hier die Formulierung von BATESON (1990, zit. nach LENZ 1999:155), dass insbesondere bei Bewertungsfragen der „Kontext das Objekt klassifiziert“, eben auch bei einer forststandörtlichen Bewertung. Der praktisch-technische Grund, das Fehlen vorgenannter Karten für Waldbereiche, ist als Motivation für die Erstellung der FSK10 ebenfalls recht bedeutsam.

3.2 Fachinformationssysteme

Zur Einordnung digitaler Forstlicher Standortdaten -unabhängig von ihrer Erstellung in konventionellen Verfahren oder im Rahmen von Modellierungen- wird eine Übersicht von GIS-Anwendungen gegeben.

3.2.1 Projekte der Forstverwaltungen der Bundesländer

In **Hessen** begann man etwa 1998 in Entwicklungskooperation mit anderen Ländern mit dem Aufbau eines forstlichen GIS. Die analoge Kartenerstellung soll durch Einbeziehung der digitalen Ausgangsdaten der Vermessungsverwaltung unterstützt werden (HLFWW 2001:99). Die Einbeziehung der Standortdaten in digitaler Form wird nicht genannt.

Auch **Thüringen** fördert GIS-Anwendungen im Rahmen des Referats „Datenspeicher Wald / Digitale Kartographie“ und „Geoinformationssystem“ der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Gotha). Das Augenmerk lag in den letzten Jahren auf der digitalen Herstellung der Waldeinteilung. Luftbildauswertung, Orthofotos und GPS-Daten wurden eingesetzt. Ein Wegeinformationssystem ist in Bearbeitung. Das System WÖFIS, Waldökologisches Forstliches Informationssystem, beinhaltet auch das Untersuchungsobjekt dieser Arbeit: „Der Import der Erstdigitalisierung der Standortdaten ist abgeschlossen.“ (LWF 2001:79).

KRANZ (2000) beschreibt die aktuellen Arbeiten in **Sachsen**. In den nächsten ein bis zwei Jahren soll das Forstkartenwerk mittels des sog. FGIS (Forstliches Geo-Informationssystem) erstellt werden. Das GIS hat neben der Kartographie auch die Funktion „Raumanalysen“ zu ermöglichen. Der aktuelle FGIS-Datenbestand umfasst 100 % der Standortformen der Standortskarte 1:10.000, die allerdings geometrisch angepaßt werden muß. Zuvor waren die forstlichen Sachdaten der „Walddatenbank“ Sachsens, Standort- und Bestandesinformationen und die Ende der 90er Jahre aufgebauten Daten der Waldfunktionenkartierung genannt worden (BIEBERSTEIN & KRANZ 1995:4).

Seit geraumer Zeit wird in **Baden-Württemberg** ein forstliches GIS (FOGIS) der Landesforstverwaltung aufgebaut. Es wurde die „Vision“ formuliert, neben bekannten typischen Forstdaten wie der Forsteinrichtung auch solche zu halten bzw. abzuleiten, die für die Forstwirtschaft von Belang sind, aber nicht ohne weiteres vorliegen: Optimale Routenplanungen, Nachbarschaftbeziehungen, Lage und Reliefeigenschaften (HÖHNE 1996:538). Die Einbindung von Standortdaten in ein Informationssystem und die Nutzung von GIS für die Standortkartierung sind Aspekte der dortigen Arbeiten (ALDINGER et al. 1996). Die Verknüpfung von Leitprofilen und Standorteinheiten wird angestrebt, Kopplungen der Standortinformation mit z.B. Bestandesdaten (Vernässung → Wuchsverhalten Fichte) werden als Anwendungsmöglichkeiten genannt.

Die GIS-Arbeiten in **Bayern** beinhalten auch einen Geodatenserver für die forstliche Standortserkundung (DÖRKEN & RÜCKER 2001). Lösungen für die Digitalisierung der Standortskarten, die Einbindung von gescannten Karten anderer Thematik und die blattschnittfreie Datenpflege wurden erarbeitet. Damit geht auch eine Homogenisierung der Standortdaten, die über die letzten 20 Jahre aufgenommen worden sind und uneinheitliche Legenden aufweisen, einher.

In jüngerer Zeit gibt es Anstrengungen zum Aufbau eines länderübergreifenden GIS der Forstverwaltungen (SCHNELLBÄCHER 2000): „In den Vordergrund rückt der Aufbau eines digitalen Informationssystems zur Unterstützung der Geschäftsprozesse“, was über dig. Kartographie hinausgeht.

Niedersächsisches Forstliches Informationssystem NIFIS

Für das Forstplanungsamt Wolfenbüttel erarbeitete ECKSTEIN (1996) Grundlegendes zum GIS-Einsatz im Forstbereich. Hier wird die Kopplung von forstlichen Sachdaten, vorgehalten in einer Datenbank basierend auf ORACLE und den Geometrien der Forsteinrichtung beispielhaft vorgestellt. Das typische Problem erstens der großen Zahl möglicher Abfragen und zweitens der Unklarheit über die Häufigkeit und somit Wichtigkeit einzelner Abfragen wird angesprochen.

Innerhalb des NIFIS soll eine Fachdatenbank „Boden“ aufgebaut werden. Sie gliedert sich thematisch-chronologisch in Datenerhebung, -haltung und -auswertung. Thematische Blöcke sind innerhalb dieser Arbeitsbereiche z.B. die direkte Messung im Gelände, Probenahme z.B. im Rahmen der Standortkartierung und damit verbunden Laboranalysen. Die Komponenten zur Datenhaltung sind die Datenbank „ECO“ und ein GIS. Methodenentwicklungen z.B. für die Waldbauplanung bilden den Schluß der Arbeitsfelder (MEIWES et al. 1997).

An dieses Konzept anschließend wird ein Baustein der digitalen Haltung forstlicher Standortdaten bei SCHULZE et al. (2000) vorgestellt. Die vormals analoge Ablage der Profilaufnahmebögen zusammen mit allen Originalunterlagen einer Kartierung (Kartenentwürfe) wird in den nächsten Jahren durch Eingabe der Daten in das Datenbanksystem ECO der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt Göttingen mit dem Anwendungsprogramm „STOKman“ abgelöst. Bisher sind einige hundert Profile in die Datenbank aufgenommen. Ein Plus der digitalen Datenhaltung in einer professionellen Datenbank ist die Normierung von Einträgen, d.h. es existiert eine Liste zulässiger Einträge je Datenfeld. Ein Datenfeld ist beispielsweise „Reliefform“. Ihm sind sog. Einzelelemente zugeordnet, die nach Volltext, Kurzform und Erläuterung unterschieden werden. Bsp.:

Volltext	Kurzform	Erläuterung
Talaue	Ta	Teil des Talbodens, der bei Hochwasserüberflutet wird
Plateau	Ep	Flach geneigte Fläche (<5°), die über die Umgebung hinausragt

Als Grundlage vorgegebener Werte dienen die „Bodenkundliche Kartieranleitung“ (AG BODENKUNDE 1994), die „Forstliche Standortaufnahme“ (AKS 1996) und der „Symbolschlüssel Geologie“ (hier kurz SSG, PREUSS et al. 1991). Allerdings war eine Ergänzung durch „spezifische Angaben der niedersächsischen Standortkartierung“ angebracht. Besonderes Augenmerk wurde neben der Haltung der reinen Standortdaten auch auf die Methodenbeschreibung gelegt, denn die Herkunft (z.B. Labortechniken) ist für die spätere Interpretation der Daten von Bedeutung.

Der Datenzugriff gliedert sich in den Weg über forstliche Betriebseinheiten oder den Weg über Koordinaten, wobei letzterer in Entwicklung ist und die spätere kartographische Ausgabe begründen soll. Einige „grundlegende Auswertungsfunktionen“ werden routinemäßig in Form von Bildschirm- und Druckausgabe zur Verfügung stehen und dabei auch gebräuchliche Bewertungsrahmen berücksichtigt: C/N-Verhältnis, Pufferbereiche und Nährstoffvorräte eines Profils sind Beispiele. Mögliche Anwendungen bei digitaler Haltung der standörtlichen Daten sind:

Die Verknüpfung chemischer Daten mit kartierten Nährstoffstufen, die Verknüpfung von profilmorphologischen Daten wie dem Tongehalt mit pH-Wert und C-Gehalt zum Zweck der Bestimmung der Austauschkapazität und damit verbunden die Übertragung von Einzeldaten in die Fläche (Karte). Weiterhin auch die Prüfung der „Gesetzmäßigkeiten der Vergesellschaftung der Böden auch auf der Basis von Topographie und geologischer Karte sowie auf der Basis von Einzelmerkmalen aus der

morphologischen Profilbeschreibung“, also eine dieser Arbeit verwandte Aufgabe bzw. Anwendung. Schließlich wird eine der wichtigsten Anwendungen der Datenbank genannt: Die Herstellung des Zusammenhangs Standort-Wuchsleistung, der durch die räumliche Nähe und die Kombination von Aufnahmeprofil und Stichprobenpunkt der Betriebsinventur erreicht werden kann.

SANDER (2000) zeigt die Nutzung von GIS in Form von „elektronischen Karten“ in Einklang mit forstspezifischen Anwendungen wie der Holzdatenbearbeitung auf. Eine Anbindung von PCs der einzelnen Forstreviere an die NIFIS-Datenbank des Landes Niedersachsen ist in Planung.

Niedersächsisches Bodeninformationssystem NIBIS

Konzepte des frühen Einsatzes der EDV bei der Aufnahme und dem Entwurf geowissenschaftlicher Karten sind bei VINKEN (1983, 1985) zusammengetragen. Seit 1985 wird das NIBIS im NLfB aufgebaut (DIELER et al. 1995:1005). Das Bodenkataster von Niedersachsen als ein Bodeninformationssystem für den Umwelt- und Bodenschutz beschrieben bereits BOESS & KUES (1987).

Aktuell ist das NIBIS kein reines Instrument zur Haltung von Bodenkarten, sondern für die Haltung und Produktion von Bodendaten im allgemeinen. BOESS et al. (1999:6) geben ein Ablaufschema für den Aufbau der Flächendatenbank des NIBIS wieder. Darin werden Daten aus der Bodenschätzung (1:5.000), dem Relief, der Geologie, der Historischen Nutzung, der Forstlichen Standortstypenkarte, der BK25, der Bodenkundlichen Standortkarte von Niedersachsen und Bremen (1:200.000) und dem Klima aufbereitet. Dies dient dazu, über Arbeiten der Datenverdichtung im Gelände und Labor, über ein Vorhersagemodell wie es auch in dieser Arbeit vorgestellt wird und eine Konzeptkarte schließlich zu einer digitalen bodenkundlichen Basiskarte zu kommen. Es handelt sich also nicht nur darum, über „systematische Landesforschung mittels Kartierung“, sondern über Zusammenführung und Interpretation auch fachfremder Daten zu bodenkundlichen Aussagen zu gelangen.

Die Einbindung des GIS in das NIBIS wird von DIELER et al. (1995) vorgestellt. Vier Arbeitsbereiche entfallen auf das GIS: Digitalisierung thematischer Karten, Datenverwaltung incl. Überführung älterer digitaler Bestände in aktuelle Formate, Nachführung der Basisdaten im Sinn von Korrekturen und Ergänzungen und die Ausgabe von Kartenplots mit topographischer Hinterlegung.

Die Verknüpfung und Überlagerung von ATKIS-Daten der niedersächsischen Landesvermessung mit dem Bodeninformationssystem des NLfB wurde von KOPSTAHL (1992) als mittelfristiges Projekt angeführt. Möglicherweise wurde geplant, ATKIS-Daten der Objektarten Gewässer und Vegetation auch für die Herleitung bodenkundlicher Informationen zu verwenden, denn z.B. Gewässerverläufe oder Moorflächen können zur Abgrenzung von bodenkundlichen Einheiten dienen.

BOMBIEN & STOLZ (1993) erläutern die digitale Erfassung und Speicherung geologischer Flächendaten im NIBIS. Die digitale Haltung der Geologie stellt danach ein Fachinformationssystem innerhalb des NIBIS dar, wie auch die Bodenkunde oder Hydrogeologie. Das BIS, Bodeninformationssystem, integriert „alle Bereiche der Erdoberfläche und der oberen Erdkruste, in die der Mensch ... eingreift“ (S. 125).

Bei der Erstellung des BIS treten Mängel auf, die einer analogen Haltung von Geodaten fremd sind. Fehlerquellen in raumbezogenen Informationssystemen am Beispiel des NIBIS sind daher Gegenstand einer Arbeit von SBRESNY (1997). Er unterteilt Fehlereinflüsse nach geometrischen und nicht-geometrischen Daten und generischen und fachspezifischen Bearbeitungsmethoden. Generische, fachspezifische Methoden umfassen z.B. die bodenkundliche Profildateneingabe, die ehemals im Freitext erfolgte und heute wegen DBMS-Eingabe auf Konsistenz geprüft werden kann (S. 7, 68). Es wird Wert auf die Etablierung einer Methodenbank gelegt, also einer Dokumentation von Verarbeitungsschritten, in denen aus Eingangsdaten abgeleitete Daten gewonnen werden. Die „Verbesserung der Qualität von Ergebnissen“ „wirkt mittelbar auf die inhärenten und die Modelliererfehler und unmittelbar auf fehlerhafte Nutzung von Daten und Methoden.“ (S. 131, 120). Eine genauere Dokumentation der Arbeitsschritte in der vorliegenden Arbeit, wenn auch ohne Einbindung in ein Fachinformationssystem, wäre ebenfalls sinnvoll, da damit die nachträgliche Quantifizierung von Ungenauigkeiten erleichtert würde. Da es sich hier aber nicht um Methoden handelt, die in einer Verwaltung Standard wären, sondern Möglichkeiten der Modellierung aufgezeigt werden, ist davon abgesehen worden.

Verbindung von NIBIS und NIFIS

Bereits früh wurde die Nutzung fachfremder Daten bei der DV-technisch gestützten Herstellung von Bodenkarten angestrebt (s.o). Bodenschätzungsgrenzen, Grenzen und Flächeninhalte geologischer Karten, Höhenlinien topographischer Karten, Grenzen und Flächeninhalte forstlicher Standortstypenkarten und Grenzen historischer Karten sind die einzubeziehenden Informationen (OELKERS et al. 1983:94).

STEININGER (1996) legt ein Beispielblatt der Forstlichen Standortkarte von Niedersachsen 1:25.000 - digital-, 4024 Alfeld, vor (vgl. GK25, JORDAN 1994). Hier werden Forstliche Standortdaten, die i.d.R. im Maßstab 1:10.000 vorliegen, in der Genauigkeit der BK25, also im Maßstab 1:25.000 abgebildet. Man spricht in diesem Zusammenhang von der „Übernahme der forstlichen Standortkartierung in die Flächendatenbank des NIBIS“.

Untersuchungen zum bodenkundlichen Informationsgehalt forstlicher Standortstypenkarten liegen vor (MOERS & GEHRT 1991). Ausgehend von 100x100 m-Bohrpunkten wird die räumliche Abhängigkeit der Lößmächtigkeit betrachtet und darauf geschlossen, ob die Bohrpunktdichte eine Grenzziehung zwischen Bodeneinheiten (Bodentypen), die mit der Lößmächtigkeit korrespondieren, erlaubt. Diese Betrachtung geschieht vor dem Hintergrund, die Forstlichen Standortdaten bei der Erstellung der bodenkundlichen Konzeptkarte 1:5.000 nutzen zu wollen, wie es dem NIBIS-Grundansatz entspricht.

3.2.2 Projekte im forstlich-universitären Bereich

Einer der frühesten GIS-Einsätze im Forstbereich wurde von BITTER (1990) vorgestellt: „EDV-gestützte Unternehmensführung im Forstbetrieb mit Hilfe eines flächenbezogenen Betriebsinformationssystems“. In einem ähnlichen Rahmen, der Forstökonomie, arbeitete auch KONITZER (2000:4). Er untersuchte „die Startphase der naturalen Entwicklung von gleichaltrigen Fichtenreinbeständen zu strukturreichen Mischbeständen über einen Zeitraum von vier Jahrzehnten“ bezüglich der „monetären Konsequenzen“. Unter Zugrundelegung des sog. LÖWE-Programms⁶ werden vorrangige Waldentwicklungstypen je nach

⁶ LÖWE ~ Langfristige ökologische Waldentwicklung

Standort und Wuchszone in ihrer Pflege und Nutzung am Beispiel des niedersächsischen Harzes bewertet. Das GIS verbindet Ergebnisse der ökonomischen Kalkulation mit flächenbezogenen Daten (S. 95ff), stellt also die Verbindung zu Forsteinrichtungsdaten und Standortdaten her.

Es liegt nahe, dass Fernerkundung und GIS auch im Forstbereich oftmals gekoppelt eingesetzt werden: HOFFMANN (2001) nutzt GIS in Kombination mit Luftbilddauswertung und Geostatistik zum Monitoring eines Naturwaldes in Nordrhein-Westfalen. Die Möglichkeit der Datenhaltung vielschichtiger Geoinformationen in relationalen Datenbanken wird aufgezeigt: „Über eine standardisierte ... Schnittstelle (ODBC-Schnittstelle = ...) wird eine Verbindung zwischen der Sach- und Geodatenbank hergestellt.“ RADBERGER (2001) arbeitete mit Rasterdaten der Satellitenfernerkundung und untersuchte die Möglichkeiten, die zukünftige Veränderung der Landnutzung in der Umgebung von Istanbul abzuschätzen. Dabei verwendete er ähnlich der vorliegenden Arbeit die Diskriminanzanalyse, allerdings die nichtparametrische Verfahrensweise. „Städtische Baum- und Grünflächeninformationssysteme – ein Beitrag zur stadtökologischen Forschung“ behandelte BEISCH (1998) und stellte damit die Verbindung zwischen forstlichen Aspekten, Landschaftsbau und GIS-Anwendung her.

JAEGER (1995) und danach HENTSCHEL (1999) setzten GIS im Rahmen des forstlichen Wegebaus ein. Während bei dem erstgenannten die Erschließungsplanung vor dem Hintergrund des Baus neuer Wege im Vordergrund stand, ist der Leitgedanke bei HENTSCHEL der Rückbau von Forstwegen: „Funktionenbezogene Optimierung der Walderschliessung im Göttinger Stadtwald unter Einsatz geographischer Informationssysteme“.

Forstökologisches Informationssystem am Forschungszentrum Waldökosysteme (FZW) Göttingen

Frühe Arbeiten zum Thema GIS-Anwendung auch in Bezug auf die Wertung von Standortdaten bei der Befahrungsplanung stellten SPORS et al. (1992) vor. Weiteres zur Etablierung einer Forstdatenbasis in Niedersachsen auf der Ebene des Forstamts mit Verknüpfung zu Bestandessimulationsprogrammen wurden von SPORS (1996) gezeigt. Der zugrundeliegende Datenpool bestand zu der Zeit allerdings fast ausschließlich aus speziell für dieses Beispiel aufgenommenen digitalen Daten, da Landesbehörden derartige Basisdaten erst für wenige Landesbereiche produziert hatten. Geländehöhendaten des DHM5 (5.2), teils selbst aus DGK5-Blättern generiert, teils von der Landesvermessung bereitgestellt und Stichprobenpunkte der Betriebsinventur zur Verortung der Wuchsleistungsangaben waren die Hauptbausteine zur Untersuchung des Buchenwachstums im FOA Reinhausen bei Göttingen.

Das Datenmaterial stellte u.a. einen Grundstock für weitere Projektarbeiten am Institut für Forstliche Biometrie und Informatik bzw. am Institut für Forstökonomie dar. Diese Arbeiten waren entweder forstlich-ökologisch (MUES 2000), forstbetrieblich (KONITZER 2000), visualisierungstechnisch (KNAUFT 2000) oder konzeptionell GIS-technisch (MYSIAK 2001) ausgerichtet.

Einige der in Kapitel 5 vorgestellten Informationslagen wurden bereits an anderer Stelle kurz beschrieben (SCHULZ et al. 2002). Hier sind neue IL und z.T. veränderte IL einbezogen worden. Versuche zur Klassifikation nur der Standortkomponente Wasserhaushalt im Raum Harz wurden durchgeführt (SCHULZ & JUDAS 2002). Sie sind in vielerlei Hinsicht nicht mit den hier vorzustellenden Arbeiten vergleichbar. Deshalb wird davon abgesehen, Informationslagen, Methoden und Ergebnisse gegenüberzustellen. Z.Zt. werden im FZW anknüpfende Arbeiten durchgeführt (Waldlandschaft Solling).

4 RELIEFANALYSE bei KARTIERUNG und MODELLIERUNG

Geländehöhendaten, mit denen das Relief beschrieben wird, stehen neben geologischen Daten im Mittelpunkt dieser Arbeit. Sie sind oft das Fundament bei der Kartierung und Modellierung ökologischer Größen, so auch von forststandörtlichen Größen außerhalb der Kartierung in Niedersachsen. Dieses Kapitel stellt in erster Linie den Einsatz von analogen und digitalen Höhendaten vor. Es steht vermittelnd zwischen den Kapiteln, in denen der Modellierungsgegenstand (Kap. 2), die Modellierungsdaten und die Intention ihrer Erstellung und die Modelle selbst (Kap. 5 bis 7) vorgestellt werden. Es behandelt Reliefklassifikation als solche, den Bezug des Reliefs zu Substrat / Boden und zum Wasserhaushalt und schließlich physisch-geographische „Einheiten“, die unter Zusammenführung vieler Kriterien gebildet werden. Eine konsequente Trennung dieser Aspekte ist wegen der naturräumlichen Wechselwirkungen nicht möglich. Vergleiche zur Forstlichen Standortkartierung werden angestellt.

4.1 Reliefmerkmale und Reliefklassifikation

Grundlegende Aspekte und Arbeitswege der digitalen Reliefanalyse wurden von DIKAU (1988, 1989) vorgestellt. Etwa 25 Merkmale eines digitalen geomorphologischen Reliefmodells werden angeführt. Viele davon sind Maße, die sich aus Strecken- und Höhendifferenzen zwischen einem Punkt und Punkten seines Einzugsgebietes ergeben, so z.B. die Höhendifferenz zum am weitesten entfernten Punkt der Wasserscheide. Weiter wird die Klassifizierung von diskreten Merkmalen vorgestellt. Beispielsweise zeigt er die Trennung von Kamm- und Stufenformelementen mit Hilfe von Neigung und Einzugsgebietsgrößen (*mean gradient, drainage basin size*, 1989:65ff) auf. Das Prinzip einer Unterteilung (*analytical subdivision*) von zuerst definierten komplexeren Reliefformen, z.B. einer gesamten Schichtstufe, liegt dem Ansatz zugrunde.

Eine oft zitierte Arbeit ist „*An integrated system of terrain analysis and slope mapping*“ (EVANS 1980). Auf eine 3x3-Höhensubmatrix eines gerasterten Gebietes wird eine quadratische Gleichung angepaßt, was außer Höhe, Hangneigung und Neigungsrichtung auch Vertikal- und Horizontalkonvexität liefert. Neigung ist für gravitative Prozesse bedeutsam, Wölbung für oberflächennahes Fließen. Die Werte werden für 17 Untersuchungsgebiete vor allem in Europa und Nordamerika besonders bezüglich ihrer Variabilität untersucht, weniger bezüglich ihrer Mittelwerte. Es ergeben sich generalisierte Merkmale jedes Gebietes und gleichzeitig wird deren Besonderheit dokumentiert. Die Charakterisierung größerer Bereiche ist das vornehmliche Ziel, weniger die Gebietsaufteilung in topische Einheiten (vgl. 3.1).

An der Universität Canberra wurde das Programm TAPES-G entwickelt (GALLANT & WILSON 1996): Augenmerk wird z.B. auf die Berechnung der Einzugsgebietsgrößen gelegt, die davon abhängt, welches von vier Verfahren den virtuellen Abfluß von einer Zelle in ihre(n) Nachbarn beschreibt. Dazu kommen Fließweglängen, wie „*longest flow path from catchment divide ... to the cell*“ und die drei Wölbungsparameter *plan-, profile-* und *tangential curvature*. Letztere ist der Querwölbung bei FRIEDRICH (1996) ähnlich; sie ist über Neigung und Horizontalwölbung herzuleiten (5.2.3.2). Die Merkmale werden in Hinblick auf Anwendungen vorgestellt: *plan curvature* sei zur Differenzierung von Rücken, Tälern und Hängen geeignet, *profile curvature* zur Differenzierung von Ober- und Unterhängen (S. 717). Das Programm ist auf die topische Dimension ausgerichtet, u.a. auf die Definition von räumlichen Mustern hydrologischer Funktionen und steht somit zwischen der regionalen und mikroklimatischen Dimension (S. 720).

BRÄNDLI (1997) extrahiert geomorphologische und hydrologische Objekte aus DHMs. Der Extraktionsprozeß wird in Grund- und explorative Komponenten gegliedert. Die ersten dienen zur Berechnung der kontinuierlichen geomorphologischen Merkmale, „die zur Bestimmung zusammenhängender Gebiete homogener Eigenschaften“ benötigt werden. Große Bedeutung wird der Berechnung von Abflusslinien und Wasserscheiden (Netzwerke) zugeordnet, was zu den Grundkomponenten gehört. Ein zweiter, explorativer Schritt ist, nach den Kriterien Netzwerkordnung und Wölbung das Netzwerk so zu werten, dass Tal- und Kammlinien entstehen (vgl. 5.2.3.6).

Ein jüngerer zusammenfassender Beitrag „Georeliefklassifikation“ von DIKAU & SCHMIDT wurde in einer Sammlung von Beiträgen zur Angewandten Landschaftsökologie vorgestellt (SCHNEIDER-SLIWA et al. 1999). Begriffe zur Reliefklassifikation sind in der Reihenfolge vom Kleineren zum Größeren Formfacette, Formelement und Reliefform (DIKAU 1988:19f). Die Wölbung ist die am häufigsten verwendete Größe zur Bildung derartiger (Basis-)Einheiten, die zum Aufbau von Hierarchiestufen dienen und das Georelief ausmachen. Bedeutsam ist die Zuordnung von Prozessen: „Schließlich sind auf Basis dieser überwiegend geomorphographisch aufgebauten Reliefklassifikation Modelle entwickelt worden, die Verknüpfungen der Reliefeinheiten zu aktuellen geomorphologischen, pedologischen und hydrologischen Prozessen herzustellen versuchen.“ (S. 223).

4.2 Ansätze zum Thema Substrat / Boden

Für ein Einzugsgebiet in Hessen (TK25 5417) zeigten SABELBERG & ROHDENBURG (1983) früh Wege zur „Ableitung von Typenarealen aus bodenkundlichen und ökologischen Primärdaten als Grundlage einer EDV-gestützten Konstruktion forstbotanischer und forststandortkundlicher Arealarten.“ Dies wurde von der Standortkartierung des Niedersächsischen Forstplanungsamts begleitet. Die Arbeit war in einen größeren Rahmen der digitalen Herleitung geowissenschaftlicher Information eingebunden (VINKEN 1983). Hauptgegenstand der Untersuchung waren Substrate: Kolluvien, Löss, verschiedene Grauwackenmaterialien und das Bodenskelett in drei Bodentiefen. Variablen zur Schätzung der Information zwischen den Meßpunkten, also den Bodenprofilen, waren absolute Höhe, Oberhanglänge bis zur nächsten Kammlinie, Unterhanglänge bis zur nächsten Tiefenlinie, Euklidische Entfernungen zum Fließgerinne und zur Wasserscheide, Exposition und Neigung (vgl. 5.2.3).

Methodisch gesehen wurden nicht die Raumtypen (Substratklassen) modelliert, sondern „die die Typen kennzeichnenden Primärdaten“ (S.147). Dies wurde auch auf geostatistischem Weg geleistet. Danach erst fand eine Aggregation der rasterartig angeordneten, modellierten Punkte bzw. Werte mit nicht-geostatistischen Verfahren wie der Diskriminanzanalyse statt. In der vorliegenden Arbeit werden sowohl Primärdaten (Mächtigkeiten, 7.1.4.2) als auch Zielklassen wie Substrate (7.1) ausgewiesen.

Ende der 80er Jahre begannen Arbeiten am Geographischen Institut Göttingen in Zusammenarbeit mit dem NLFb die digitale Reliefanalyse für bodenkundliche Vorhersagemodelle nutzbar zu machen.

KÖTHE & LEHMEIER (1991) beschrieben dies in „Digitale Reliefanalyse - Ein Projekt zur geomorphologischen Auswertung digitaler Geländemodelle (DGM).“ Die Ergebnisse der digitalen Reliefanalyse sollen in ein Vorhersagemodell des NLFb eingebracht werden „mit dessen Hilfe im Rahmen eines Bodeninformationssystems ... unter Verwertung ... verfügbarer Informationen über die bodengenetischen Faktoren auf deduktiven Wege bodenkundliche Kartiereinheiten ermittelt werden

können, um ... u.a. eine rationellere Geländearbeit zu ermöglichen.“ (S. 100). Wichtige morphometrische Parameter sind Neigungsstärke, Exposition, Wölbungstendenz und –radius der Vertikal- und Horizontalwölbung, die „bei der Definition von Reliefeinheiten Verwendung finden“ (S. 101).

KÖTHE & LEHMEIER (1993) stellten dann SARA, ein System zur automatischen Reliefanalyse, in fortentwickelter Version vor. Flächenhafte Reliefeinheiten waren in drei Kategorien unterteilt (S. 14ff): Kategorie 1 gliedert in „Oben, Unten und Dazwischen“, Scheitelbereiche, Senkenbereiche und Hangbereiche. Voraussetzung sind dabei Kulminationslinien und Tiefenlinien jeweils als „Rückgrat“ und Neigungsunstetigkeiten innerhalb von Höhenspannen der Umgebung. Kategorie 2 gliedert in „Hangstreichrichtung“ beruhend auf Expositionsverhältnissen und Neigungsstärke: Konvergenz-, Divergenz- und Intermediärbereiche entstehen. Hier wird Bodenfeuchteverteilung und Bodenakkumulation assoziiert. Kategorie 3 gliedert in „Hangfallrichtung“: Es werden relative Verteilungen und Verflachungen zwischen linienhaften Reliefeinheiten als Begrenzungskriterien ermittelt. Derartige Einheiten können auf geologische Merkmale wie die Verwitterungsresistenz oder Existenz von Flußterrassen hinweisen.

Reliefeinheiten sind z.B. auch Scheitelbereiche, Talauen, geschlossene Hohlformen, Ebenheiten oder Hangbereiche. Derartige scheinbar einfache aber bei genauerer Betrachtung komplexe Begriffe sind zwar in der bodenkundlichen und auch forststandörtlichen Literatur vertreten, aber die Ausfüllung dieser Begriffe über eindeutige Kriterien wird darin vielfach vernachlässigt.

Bei KLEEFISCH & KÖTHE (1993) sind die angewendeten Kriterien und deren Schwellenwerte wiedergegeben. Scheitelbereiche sind „Bereiche einer konvexen ... Vollform mit mindestens einem lokalen Maximum der Höhe; Gefälle <4.0 %, Höhe über nächster Tiefenlinie >0.5 m“. Diese Bereiche werden nach Scheitelbereich einer Anhöhe, eines Hügels, eines Berges und nach Hangbuckel differenziert. Bei dem Scheitelbereich z.B. eines Hügels ist eine Höhe über der Talau von 10 – 50 m gefordert. Hangbereiche können z.B. nach der Größe der Einzugsgebiete gegliedert sein, wobei sich unregelmäßige Größenstaffelung wegen des akkumulativen Charakters der Einzugsgebietsgröße anbietet.

Das Fehlen eines umfassenden Systems zur Beschreibung morphographischer und morphometrischer Merkmale ohne morphogenetische Gesichtspunkte motivierte LEHMEIER & KÖTHE (1992:374) zu einer Systematisierung morphographischer *relief features*. Unabhängigkeit von der Dimension und der Genese waren dabei bedeutsam. Beispielsweise ergeben sich positive und negative *relief features*, wobei die erstgenannten u.a. in Anhöhen (*elevation areas*) und Kulminationsbereiche gegliedert sind. Die Anhöhenbereiche werden in die Gruppe mit bzw. ohne in alle Richtungen anschließende Hänge aufgeteilt. Sodann wird nach dem Profil des Kulminationsbereiches entschieden. Es kann scharf, rund, flach oder plateauartig geformt sein. Zusätzlich wird nach der Form der Fläche, des Bereichs, der nicht Kulminationsbereich ist, differenziert. Er kann z.B. lang und gestreckt oder lang und gewölbt sein. Derartige Systematiken geben zwar den Anschein eines starren Gefüges, sind aber notwendig, um die Oberfläche objektiv beschreiben zu können; dies grenzt sie von der oftmals subjektiven Umschreibung mit geomorphologischen Begriffen, wie sie auch der FSK10 verwendet werden, ab.

Das Programm SARA wurde z.B. bei MURSCHEL & LIEBEMANN (1995) bei der „Automatischen Reliefanalyse zur Ableitung räumlicher Bodeninformation aus der Bodenübersichtskarte“ eingesetzt. Der

Ausgangsmaßstab war dabei 1:200.000. Mit SARA ermittelte Senken werden als Kolluvien deklariert, was zum großen Teil einer Kartierung entspricht. Hangbereiche werden, je nachdem, ob sie konvexgestreckt oder konkav sind, entweder Pararendzinen oder Parabraunerden zugeordnet, wobei sich geringere Übereinstimmungen, ausgedrückt als Anteil der kartierten an der übereinstimmend hergeleiteten Einheit, ergeben. Man sieht Einsatzmöglichkeiten „auf der Ebene der reliefformtypischen Bodenformengruppen“, nicht aber auf der von Bodentypen (S. 1156). Die Auswertung der DGM-Daten des ATKIS-Datenbestandes im Rahmen der Erstellung der digitalen Konzeptkarte mit Hilfe von SARA wurde Mitte der 90er Jahre etabliert (STEININGER 1995:136). Von Konzeptbodenkarten, z.B. unter Zuhilfenahme von Reliefanalyseprogrammen für die endgültige Abgrenzung von Kartiereinheiten, spricht auch MÖLLER (2001:103).

Weiterentwicklungen der automatischen Reliefanalyse auf der Basis von digitalen Geländemodellen fanden im Rahmen einer objektivierten Ausweisung von „Einheiten“ mit dem Programm SADO statt (System zur Analyse und Diskretisierung von Oberflächen, BÖHNER et al. 1997). Die Arbeiten sind ebenfalls im Rahmen der Unterstützung geowissenschaftlicher Kartierungen zu sehen. Dort wird zwischen Flächeneinheiten (1) und Reliefeinheiten (2) unterschieden. Erste sind durch benachbarte, zusammengefaßte Rasterzellen definiert. Die Zusammenfassung erfolgt nach einem Repräsentanzmaß, das die Dimension Meter hat. Für jede Zelle eines Untersuchungsgebietes (i.d.R. Blattsschnitte) wird hergeleitet, ob ihr morphometrischer Wert z.B. der Neigung für seine Umgebung repräsentativ ist. Dies wird durch eine Semivariogrammanalyse bestimmt. Für die Umgebungsanalyse müssen Suchradien definiert werden, z.B. 200 m. Schließlich wird festgelegt, den Schwellenwert 50 % der Semivarianz des ersten signifikanten Maximums innerhalb des Suchradius als Kriterium für Repräsentativität heranzuziehen. Ein morphometrischer Wert einer Zelle ist also für seine Umgebung bis zu x Meter weit „repräsentativ“, die Umgebung bis x Meter weist also einen sehr ähnlichen Wert auf.

In einem Zwischenschritt werden die Flächeneinheiten (1) durch Vektorisierung der Minimalwerte der Repräsentanzwerte erzeugt. Dabei macht man sich zunutze, dass dort, wo geringe Repräsentanzwerte (in der Dimension m im Sinn einer Ausdehnung der Repräsentanz) auftreten, ein nennenswerter Wechsel der morphometrischen Eigenschaft auftreten muß: Aus eigentlich kontinuierlichen Werten, die die Erdoberfläche überkleiden, werden diskrete Flächen gewisser Homogenität. Diskretisierung, also Ausweisung von „Einheiten“ ist das Hauptziel des Programms, was die von SARA ermittelten Reliefeigenschaften verwendet.

Da dieser Ansatz im Prinzip relative Unterschiede der Eigenschaften bewertet, wird aber zuerst auch in Kauf genommen, dass trotz geringer absoluter Unterschiede Grenzen zwischen homogenen Bereichen gezogen werden. So z.B. in weitgehend flachen Bereichen mit nur geringen Neigungsunterschieden (S. 14). Dem wird durch zusätzliche Programmschritte der Zusammenfassung abgeholfen.

Die Reliefeinheiten (2) ergeben sich schließlich aus einer nicht-hierarchischen Clusteranalyse der mittleren Werte der berücksichtigten Eigenschaften der Flächeneinheiten, nicht der morphometrischen Eigenschaften selbst. Beispielsweise werden absolute Höhe, Neigung und Vertikalwölbung in den Flächeneinheiten standardisiert und gemittelt verwendet. Eine Verbindung von SARA und SADO wird wiederum hergestellt, indem die zuvor mit SARA hergeleiteten flächenhaften Reliefeinheiten durch die per Clusteranalyse erzeugten Reliefeinheiten differenziert werden. Zur Untergliederung der SARA-

Scheitelbereiche wurden die Parameter Neigung (zur besseren Differenzierung flacher Areale logarithmiert) und Vertikalwölbung, umgesetzt in 13 bzw. 14 Cluster, herangezogen.

Mitte der 90er Jahre wurde ein „Iteratives multivariates Distanzverfahren zur Bestimmung homogener Reliefeinheiten“ erstellt (IVHG, FRIEDRICH 1996, 1998). In der ersten Arbeit finden sich „Methoden zur Reliefgliederung im Hinblick auf die räumliche Ausprägung des oberflächennahen Untergrundes“ (S. 90ff). Bodenbildung in Talbereichen, Deckschichten, quartäre Lockermaterialbildungen bzw. die Ergebnisse von Materialumlagerungen sind das Pendant zur Reliefanalyse.

FRIEDRICH diskutiert Ansätze zur Reliefgliederung von KÖTHE & LEHMEIER (1993). Es würden einzelne Reliefkategorien in vertikaler und horizontaler Gliederung abgeleitet und er meint, dass „eine Reliefgliederung auf Grundlage einer Erfassung der gesamten Formgestalt erreicht werden kann und muß“ (S. 114). Dies versucht er mittels einer „multivariaten Distanzgruppierung.“

Seine Ansätze erlauben die Ausgrenzung von Senkenbereichen (1), die Gliederung durch Klassifizierung von Reliefformelementen (2), die Anwendung multivariater Distanzverfahren zur Gliederung homogener Reliefeinheiten (3) durch ein iteratives Clusterverfahren zur Bildung reliefbezogener Raumtypen (3a), die Gliederung homogener Reliefeinheiten durch ein raumbezogenes, iteratives Distanzverfahren (3b) und schließlich die Ableitung einer relativen Massenbilanz der solifluidalen Hangüberformung (4).

Senkenbereiche (1) werden dadurch definiert, dass erstens Zellen der Tiefenlinie selbst über ihre geringe Neigung und ihre Einzugsgebietsgröße per Schwellenwert festgelegt sind und dann zweitens für die Abgrenzung zum Hang eine maximale Höhe über der Tiefenlinie festgelegt wird. Die Höhe wird flexibel nach Einzugsgebietsgröße und (Abfluß)neigung hergeleitet und auf Querprofile zur Tiefenlinie angewendet: Je steiler die Zelle geneigt ist und je größer das Einzugsgebiet (EZG), desto größer ist die Höhe (vereinfacht S. 98f). Dies ist sinnvoll, da der Senkenbereich in aueähnlichen Tälern breiter als in höheren Mittelgebirgslagen in kleineren Seitentälern ausgeprägt ist. Flankierend wirken einige minimale und maximale Eingangsparemeter und Faktoren für Neigung und Einzugsgebietsgröße. Senkenbereiche dienen indirekt auch dazu, einen anderen Prozeßbereich als den fluviatilen Bereich der Senken festzulegen: Den solifluidalen Hang- und Scheitelbereich (S. 103).

Ausgehend von einer Diskussion der Ansätze z.B. von DIKAU (1988) wird im Arbeitsbereich (2) die Anwendung der „Krümmung“ ($1 / \text{Radius}$) vorgestellt und darauf verwiesen, dass allerdings eine „Ableitung von ... Kriterien aus Testgebieten nach Boden- bzw. Deckschichteneinheiten“ nicht möglich sei (S. 107). Dies steht der Idee einer Klassifizierung von Reliefformelementen für bodenkundliche Modellierungen entgegen, da die vorangestellte Aussage auch so gedeutet werden kann, dass kein deutlicher Zusammenhang zwischen Bodenmerkmal und Krümmung vorläge. Trotzdem wird ein Zusammenhang propagiert (S. 108). Betont wird die Verwendung der Querkrümmung, die eine Ergänzung zu den zumeist herangezogenen Werten der Horizontal- und Vertikalkrümmung darstellt. Der Grund ist, dass z.B. die Horizontalkrümmung allein ohne die Einbeziehung der Neigung einer Zelle (eines Ortes, eines Punktes) wenig aussagt, denn sie spiegelt nur die Form der Höhenlinien in der Nähe der Zelle wieder. Die Form kann aber gleich sein, obwohl das Relief recht unterschiedlich gegliedert ist, was sich in der Dichte der geschwungenen Höhenlinien (\sim Neigung) ausdrückt. Querkrümmung integriert Steigung und Horizontalkrümmung (vgl. 5.2.3.2).

Entgegen der Anwendung von fixen Schwellenwerten werden anzuwendende Schwellenwerte anhand von lokalen Betrachtungen hergeleitet; sie sind entweder innerhalb von Analysefenstern, die über das Gesamtgebiet „wandern“, oder durch manuell definierte Teilgebiete bestimmt. Schließlich wird eine Kombination aus separaten Klassifizierungen für Vertikal- und Querkrümmung propagiert, wobei sich neun lokale Formelemente ergeben, denn die separaten Klassifizierungen bestehen aus den drei Werten „konkav“, „gestreckt“ und „konvex“ (S. 112). Die Auswertung und Bewertung dieser Ergebnisse im größeren Umfeld ist aber erschwert, weil lokale, gleitende Schwellenwerte eingehen. Das Manko wird dort allerdings als wenig bedeutsam eingeschätzt.

Im nächsten Schritt (3a) kommen statistische Abgrenzungsmechanismen zum Einsatz, es erfolgt eine „multivariate Distanzgruppierung“. Iterativ clusteranalytisch, unter Vorgabe von Klassenzahl und Eingangsklassenzentroiden, wird dort auf Basis der Quer- und Vertikalkrümmung und der Neigung gruppiert, bis zehn Cluster resultieren. Es handelt sich somit um eine unüberwachte Klassifizierung. Die Festlegung eines jeden der zehn Cluster ist vor allem durch die geringe „Distanz“ (enge Wertespanne, S. 119) innerhalb der Neigung und Vertikalkrümmung bestimmt. Die Querkrümmung einer Beispielklasse umfasst hingegen eine weite Spanne, was bezogen auf Merkmale von Deckschichten als unzureichend bezeichnet wird. Dem wird mit einer „Gewichtung“ der Querkrümmung abgeholfen. Es wird konstatiert, dieses Clusterverfahren bringe Flächeneinheiten hervor, die vom Wertespektrum des aktuellen Gesamtgebietes abhängen und somit gebietspezifisch interpretiert werden müssen.

Die Weiterführung der Arbeiten (3b) berücksichtigt den „räumlichen Zusammenhang der eingesetzten Variablen im Koordinatensystem (Rastermatrix)“ (S. 121). Es werden immer nur die zwei benachbarten Zellen zu einer Einheit zusammengesetzt, die im Merkmalsraum minimal entfernt sind. Dazu werden einzelne Zellen jeweils als Einheit aufgefasst und resultierende Gruppen aus Einzelzellen im erneuten Betrachtungsdurchlauf als neue Zelle angesehen, wobei sich wegen der Klumpung von Zellen neue paarweise Betrachtungen der Merkmalsdistanzen ergeben (S. 122ff).

Da FRIEDRICH meint, in unterschiedlichen Landschaftsräumen bzw. Teilbereichen von Blattschnitten unterschiedliche Regularien anwenden zu müssen, der Merkmalsraum bei dem Reliefattribut Wölbung dafür aber ungünstig ausgestattet ist, führt er Transferkonstanten ein (S. 126f). Er transformiert die Krümmung ($1 / \text{Radius}$): Große Krümmungswerte werden bei kleinen Konstanten (z.B. 0.00033) stark gestaucht. Große Krümmungswerte weichen weit von 0 (gestreckt) ab und entsprechen starker Krümmung, d.h. kleinen Krümmungsradien ($0.01 \text{ Krümmung} = 100 \text{ m Radius}$). Der Sinn ist, mit der transformierten Krümmung in wenig und stark reliefierten Bereichen gleichermaßen bodenkundlich plausible Flächeneinheiten auszugliedern.

Schließlich definiert FRIEDRICH (S. 136ff) eine hypothetische Massenbilanzierung der solifluidalen Hangüberformung (4). Dies ist im Kontext der vorliegenden Arbeit interessant, da Lagerungsklassen in Abhängigkeit von der Mächtigkeit und Zusammensetzung des dem Festgestein auflagernden Lockermaterials definiert sind (7.1.5). Dieses Material muss allerdings nicht immer durch Solifluktuationsprozesse geprägt sein. Insofern ist die Herleitung solifluidaler Materialverteilungen nur ein Aspekt von mehreren. Da ein „Massenbilanzindex“ in Anlehnung an FRIEDRICH verwendet wurde, wird er als Informationslage erläutert (5.2.3.3).

Eine der jüngeren Anwendungen von SARA für die Bodenkartierung im Zielmaßstab 1:50.000 wird bei MÖLLER (2001) vorgestellt. Es handelt sich um einen „wissensbasierten Ansatz“, der neben Reliefdaten auch Landsat TM5-Daten einbezieht. Beide Reliefanalyseprogramme werden getestet: IVHG und SARA. Dazu kommen etablierte Satellitendaten - Auswertungsmethoden, z.B. das *maximum-likelihood*-Verfahren. Es werden Parallelen zwischen Reliefeinheiten, Ausgangssubstraten und Bodentypen, bzw. zwischen Reliefeinheiten und Bodeneinheiten hergestellt. Neben automatisierten Arbeitsschritten werden interaktive Grenzziehungen propagiert.

Andere Arbeiten nutzen konventionell-statistische bzw. regelbasierte Methoden: In einer bodenkundlichen Modellierung auf Landschaftsmaßstab verwenden GESSLER et al. (1995:429) die Horizontalwölbung (*plan curvature*) und den *compound topographic index* (CTI, 5.2.3.12), um Bodenmerkmale wie die Mächtigkeit des A-Horizonts und die Mächtigkeit des gesamten Bodens zu berechnen. Die Wahrscheinlichkeit des Vorkommens eines Bleichhorizonts im Profil wird mit Hilfe logistischer Regression und der Variablen *upslope mean plan curvature* bestimmt (S. 429).

MCKENZIE & RYAN (1999) beschreiben die Modellierung der Profiltiefe (*soil profile depth*). Basisdaten stammen dort von nach Klimawerten und Geologie gewählten Standortsprofilen im südöstlichen Australien. Sie nutzen einen Entscheidungsbaum (*tree-based method*), um sechs Mächtigkeiten, ausgehend von einem mittleren Wert, zu modellieren. Der Entscheidungsbaum hat fünf Verzweigungen, wobei z.B. die erste Verzweigung die Klasse mit etwa 3 m Mächtigkeit bei geringer Neigung und etwa 2 m bei höherer Neigung trennt. Andere Verzweigungen verwenden den CTI (5.2.3.12), ein Maß der relativen Höhe (5.2.4.1), wiederum die Neigung und die mittlere Jahrestemperatur. Größte Mächtigkeit ergibt sich bei geringer Neigung und hohem CTI-Wert, geringste Mächtigkeit bei größerer Neigung, größerer relativer Höhenlage und höheren Temperaturen.

Vergleich der Ansätze und Vergleich zur vorliegenden Arbeit

Eine Parallele weisen die Arbeiten von FRIEDRICH (1996) und BÖHNER et al. (1997) auf: In beiden werden zuerst morphometrische Zellenwerte bestimmt, dann einzelne Flächeneinheiten bzw. Flächenobjekte aus benachbarten Zellen hergeleitet und daraufhin diese Einheiten zu übergeordneten Einheiten zusammengestellt. Bei FRIEDRICH heißen sie Gebietsklassen (S. 125), bei BÖHNER et al. Reliefeinheiten (S. 14f). FRIEDRICH nutzt als Grundidee Ähnlichkeiten benachbarter Zellen bezüglich der Lage der Zelle im mehrdimensionalen Merkmalsraum (S. 122), BÖHNER et al. führen die Reichweite der Repräsentativität eines Zellenwertes in seiner Umgebung ein.

Charakteristisch ist dort auch die Perspektive, dass sich Einheiten ausgehend von den morphometrischen Reliefeigenschaften ergeben und dann, sobald sie existieren, bestimmten, z.B. bodenkundlichen Merkmalen zugeordnet werden könnten. Dies hat zwar einen universellen Charakter, vor allem wenn unabhängig von Zellengröße und Landschaftstyp gearbeitet wird. Andererseits ist diese Perspektive nur indirekt zielführend: Man orientiert sich an einem Idealbild des postulierten Zusammenhangs zwischen Relief und Bodeneigenschaft und weniger an der Realität, die in Form von bereits erstellten bodenkundlichen oder standörtlichen Einheiten in Karten abgebildet wird.

In der vorliegenden Arbeit wird gewissermaßen spiegelbildlich vorgegangen. Denn forstliche Standort„einheiten“, nicht Reliefeinheiten, liegen bereits vor und es wird geprüft, mit welchen morphometrischen Eigenschaften (Variablen, Informationslagen (5.2)) und mit welchem Modell (u.a.

Diskriminanzfunktion, Kap. 7) dieses Bild ohne Zwischenschaltung von unabhängig formulierten Reliefeinheiten annähernd reproduziert bzw. produziert werden kann. Eine vorgeschaltete Bewertung der Merkmale bzw. ihrer räumlichen Verteilung findet nicht statt. Vielmehr ist es anfangs nahezu offen, welche Informationslagen zu welchem Zweck herangezogen werden könnten, wenn auch bei ihrer Produktion eine Intention bezüglich ihrer Praxisrelevanz vorhanden ist. Es ist weniger von Interesse, ob Reliefeinheiten wie Senken, Oberhänge o.ä. mit Klassen der Forstlichen Standortkartierung korrespondieren. Diese Art einer Gesamtanalyse bzw. Modellumsetzung von primären Höhendaten zu endgültigen Standortklassen wird gewissermaßen übersprungen. Morphographische Begriffe wie „Mulde“ sind zwar geeignet und werden benutzt, um Sachverhalte zu umschreiben, die Modellierung z.B. einer „Mulde“ ist aber nicht notwendig, um das eigentliche Ziel der Standortklassenausweisung zu erreichen. Eine Ausweisung von Reliefeinheiten i.w.S. hat allerdings den Vorteil, ein weniger unruhiges Zielklassengefüge zu modellieren als es in Kapitel 7 der Fall ist.

Die Variablen im vorliegenden Ansatz haben außerdem nicht die pauschale Funktion, alle Klassen flächendeckend voneinander zu trennen, sondern werden nur dann gewählt und eingesetzt, wenn sie für einen bestimmten Vorgang sinnvoll nutzbar sind. Wenn sie nach Datenlage nicht verwendbar sind, werden sie nicht zur Modellierung bestimmter Klassen des Zielgebietes verwendet. Werden sie eingesetzt, wirken sie so auf das Zielgebiet, wie es den Werten im Zielgebiet -bedingt durch die anhand der Datenbasis festgelegte Funktion- entspricht. Dies kann zu ausgedehnterer oder geringerer Modellierung einer Zielklasse gegenüber der Datenbasis führen (6.1.2), was durchaus angebracht ist. Die Ausdehnung wird zusätzlich durch *a-priori*-Annahmen gesteuert (6.2). Demnach müssen Variablen nicht wie bei FRIEDRICH (1996) mit Transferkonstanten angepaßt werden, um für Teilbereiche von Modellierungsräumen adäquate Klassenausdehnungen zu erreichen.

Eine Transformation z.B. der Wölbung wird in der vorliegenden Arbeit auch deshalb nicht integriert, weil sie nicht darauf aufbaut, die Wölbung als solche, die in der Literatur oftmals als relevant eingeschätzt wird, oder eine andere Variable in Wert zu setzen. Sie baut stattdessen darauf auf, durch Selektion Variablen zu finden, mit denen das angestrebte Standortmuster produziert werden kann. Dabei kann die Wölbung oder eine andere der vorgegebenen Variablen in manchen oder auch allen Schritten als Modellkomponente entfallen. Außerdem ist das Bergland als Raum zu sehen, der geomorphologische Einheitlichkeit aufweist, so dass keine landschaftsgebundene Transformation notwendig ist.

Weiter werden z.B. bei FRIEDRICH (1996) bis auf Einzugsgebietsgrößen primär keine Reliefmerkmale einbezogen, die die Lage einer Zelle in ihrer weiteren Umgebung beschreiben; vielmehr bezieht er sich auf Neigung, Exposition und mehrere Wölbungs- bzw. Krümmungsparameter.

Von einer Prüfung der Ergebnisse etwa in Form von klassenweisen Trefferquoten gegenüber Kartierungen, die als Referenz dienen könnten, wird bei FRIEDRICH (1996:165) und MÖLLER (2001) abgesehen. Begründung ist, dass erstens bodenkundliche Kartierungen subjektive Aufnahmen seien und zweitens das Relief nur ein Faktor von mehreren für die Ausprägung von Deckschichten sei. Kapitel 7 enthält solche gegenüberstellenden Zwischenergebnisse. Eine Kopplung von konventionellen statistischen und regelbasierten Wegen zur Herleitung von z.B. Deckenmächtigkeiten und vor allem von Standortklassen wird in dem Kapitel vorgestellt.

4.3 Ansätze zum Thema Wasserhaushalt

Unabhängig von der Beschreibung der Wasserhaushalts im Raum wurde in der Vergangenheit versucht, eine schlüssige, verbale Klassifikation der Situation an kartierten Orten auszuführen. Man diskutierte die Verwendung von bodenphysikalisch oder pflanzensoziologisch begründeten Schemata für Feuchteregimetypen (ZEPP 1991). Letztere leiten sich aus dem Vorkommen von Zeigerpflanzen ab. Zwei abgeleitete Größen der Bodenphysik sind der Wassergehalt und die Wasserspannung. Anhand der kumulativen Wasserspannungshäufigkeiten im Oberboden (30 cm) und im unteren Bereich des Hauptwurzelraums (90 cm) und ihrer zeitlichen Verteilung bildete ZEPP ein Gefüge von Bodenfeuchteregime-Typen. Er setzt restriktive und somit subjektive Schrankenwerte zu Vorgruppierung der Örtlichkeiten ein und gruppiert im Zuge einer Clusteranalyse objektiv weiter (S. 9ff). Schließlich bemerkt er (S. 15): „Insgesamt zeigen die Ausführungen, wie problematisch der Rückschluß von bodentypologischen Eigenschaften und bodengenetischen Merkmalen auf einen quantitativ formulierten Feuchteregimetyp ist; es bedarf einer differenzierten, komplexen Bewertung der hydromorphen Profilmerkmale, der Bodenartenschichtung, der Porengrößenverhältnisse und des Grundwasserstandes.“

Die Einbeziehung des Reliefs als Regelungsfaktor etwa für den Grundwasserstand oder durch selektive Umlagerung für die Bodenartenzusammensetzung wird dort nicht einbezogen, da kein Anspruch bestand, das Feuchteregime zu modellieren, sondern anhand von Messungen bzw. Kartierungen auszuweisen. Der Zusammenhang zum vorliegenden Beitrag besteht aber darin, dass dort wie auch bei der Forstlichen Standortskartierung Klassen (Stufen) resultieren, die unter Berücksichtigung der zeitlichen Versorgung den Standort verbal mit Begriffen wie „überwiegend naß“ oder „mäßig frisch“ beschreiben (S. 11).

Hangneigung und Exposition und Substrattypen sind das „Grundlagenmaterial zur Definition von Entscheidungskriterien“ bei der Typisierung und flächenhaften Erfassung auch von Bodenfeuchteregimen in einem Gebiet der Schweizer Alpen bei GIAMBONI & DÖBELI (1997:253f). Sie entwickeln unter Verweis auf MOSIMANN (1984) eine „Entscheidungsleiter zur Ausscheidung von geomorphologisch-geoökologischen Raumeinheiten (Pedohydrotopen)“, schalten eine Standortkartei mit Meßdaten dazwischen und propagieren die Möglichkeit einer „Übertragung der Punktdaten auf die Fläche“. Es ergeben sich bei bestimmter Exposition z.B. „zeitweise trockene, mäßig speicherfähige Standorte in südost-exponierter Oberhanglage“, wenn ein Ort weder Mulde noch Kuppe bei 0°-5° Neigung, noch Solifluktionsbildungen aufweist (S. 260). Es bleibt allerdings unklar, wie z.B. überhaupt die morphographische Einheit „Mulde“ oder „Kuppe“ abgegrenzt wird. Durch das starke Kriterium der Existenz von Solifluktionsbildungen in Kombination mit zwei Neigungsklassen und das nachgeschaltete Kriterium Substrat werden Reliefeigenschaften als direkte Steuergröße bei einer Kartierung etwas zurückgedrängt, obgleich sie durch Substrateigenschaften indirekt einbezogen sind. Hier wird wieder deutlich, dass der „Wasserhaushalt“ der FSK10 allein mit Reliefeigenschaften weniger gut modellierbar sein wird, dass also Substrateigenschaften (vgl. 7.1) ebenso bekannt sein sollten.

Bei der Modellierung des Bodenwasserhaushalts im unkartierten Raum wird heute i.d.R. zwischen dem Rückschluß von „punktuell gemessenen Größen auf größere Flächen (*upscaling*)“ und dem „Schließen von großräumigen Wasserhaushaltsinformationen auf den Bodenwasserhaushalt an Einzelstandorten (*downscaling*)“ unterschieden (ZEPP & HERGET 2001:16). Dabei liegt zugrunde, dass im Prinzip bereits bestimmte Informationen für den Raum, den man beschreiben will, existieren.

Dies weicht von der vorliegenden Arbeit insofern ab, als dass hier von einem ideellen Parametrisierungsraum und einem bezüglich des Wasserhaushalts unbekanntem Zielraum ausgegangen wird (1.2.2 und 6.1.2). Andererseits kann man auch jede einzelne Zelle eines Zielraums als Einzelstandort auffassen, für den eine Prognose gemacht wird; dann würde es sich gewissermaßen um *downscaling* handeln. Das aktuelle Problem der Forststandortmodellierung käme der *upscaling*-Problemstellung dann nahe, wenn gemessene, kartierte Standorteigenschaften an Punkten als Datenbasis genutzt werden und damit der umgebende Zielraum mit Information belegt würde.

ZEPP & HERGET geben weiter eine methodische Dreiteilung der Zielgröße an: 1. Momentane Bodenfeuchtigkeit, 2. Bodenfeuchteregime und 3. Bodenwasserflüsse. Forststandörtlich handelt es sich um das Bodenfeuchteregime als zu modellierende Zielgröße(-klasse). Bodenhydrologische Kennwerte wie die nutzbare Wasserspeicherkapazität (nFK) und Wasserleitfähigkeit (kf-Wert) sind heute aus kartierbaren Bodenarten ableitbar. Auch Modelle der Grundwasserneubildung, basierend auf Nutzungsarten, der nFK_{we} , Relief und Grundwasserflurabstand liegen vor (S. 16).

Ohne bereits digitale Werkzeuge zu nutzen, sondern unter Verwendung einer „Insolationskartierung“ zeigt BIEDERBICK (1992:134) die Quantifizierung des Gesamtwasserhaushalts. Die dort vollzogene „Kartierung“ beruht auf für Breitenkreise gültigen monatlichen Energie-Monatswerten (MORGEN 1957), die über gemessene langjährige Sonnenscheindauer an Beispielstationen reduziert und dann in Besonnungssummendiagramme eingetragen werden. Sie zeigen die Hangneigung und den Energieeintrag auf den Diagrammenachsen und den Zusammenhang der Steuergrößen durch Linien, die für die Haupthimmelsrichtungen repräsentativ sind. Die Diagramme werden im Gelände, wo die Reliefsituation bestimmt wird, benutzt und der Energieeintrag abgegriffen. Dort wird auch die „Horizontbegrenzung“ durch umliegende Höhen in Azimuth-Abständen von $22,5^\circ$ gemessen und daraufhin der Eintrag reduziert. Aus Vegetationszeitniederschlägen und der nWSK unter Annahme von vorratsfrischen Böden wurde die Summe des potenziell pflanzenverfügbaren Wassers berechnet, dem die mögliche von der Einstrahlung abhängige Verdunstungsmenge gegenübergestellt und somit bilanziert. Neben der Einstrahlung nennt BIEDERBICK Windverhältnisse bzw. Ventilation und konstatiert, dass diese die Verdunstung beeinflussenden Größen nicht wie die Insolation kartierbar sind.

Den einstrahlungsbasierten Reliefeinfluss finden auch WESSOLEK et al. (1993), allerdings auf landwirtschaftlichen Flächen, im südlichen Niedersachsen. Die Grundwasserneubildung im Jahr differiert auf nord- bzw. südausgerichteten Hängen bei nur 10 % Neigung bereits um 50 mm zugunsten des Nordhanges, was mit der verringerten Evapotranspiration zusammenhängt. WESSOLEK et al. stellen vier Bodenarten und die drei Reliefeinheiten Nord- und Südhang verschiedener Neigung und Ebene gegenüber und meinen, dass „der Einfluß des Reliefs ... auf den Wasserumsatz ... mindestens gleichbedeutend wie Unterschiede in der nutzbaren Feldkapazität“ ist.

DUTTMANN (2001:24f) stellt die Bodenfeuchte als Steuergröße der Bodenerosion an einem Beispielgebiet des Innersteberglandes in Niedersachsen vor. Dazu werden sommerliche Bodenfeuchtefelder hergeleitet (Wassergehalte in Vol.-%). Angestrebt sind somit Momentaufnahmen, nicht verallgemeinernde Beschreibungen des Feuchtezustands in der für das Baumwachstum bedeutsamen Vegetationszeit, was ein Unterschied zur vorliegenden Arbeit ist. Als relevant werden Eigenschaften (Faktoren) nach Boden-, Nutzungs- und Reliefkriterien angeführt. Die Feuchteverteilung wird mit „Regressionsgleichungen“

ermittelt, wobei konkrete Variablen und Koeffizienten nicht angegeben werden (S. 31). Es ergeben sich durch Felduntersuchungen nachgewiesene Regelmäßigkeiten, wie z.B. dass die Feuchte an Nordhängen mit steigender Hangneigung zunimmt, dass niedrigste Werte im Durchschnitt auf südlich exponierten Oberhangbereichen mit vertikal und horizontal konvexer Wöbung zu finden sind und dass Muldenbereiche bzw. konkave Bereiche größere Feuchte aufweisen. Desweiteren wird Flachgründigkeit angeführt und die Unterscheidung nach Wintergetreideanbau und Anbau von Sommergetreide bzw. anderen Feldfrüchten getroffen (S. 30-31). Da es sich um landwirtschaftliche Standorte handelt, sind die Erkenntnisse nicht direkt übertragbar: Dort sind Durchwurzelung und Bewuchs anders als auf Waldflächen. In moderaterer Form sind die Verteilungen im Raum aber ähnlich.

In bewaldeten, stark reliefierten Gebieten der Südlichen Appalachen in 600-1500 m Höhe arbeiteten HELVEY et al. (1972). Sie gliederten die Messlokalitäten in Rücken, Mittelhang und Hangfuß und stellten dann für Tiefenstufen in 30 cm-Schritten bis 210 cm Tiefe separate Regressionsgleichungen auf. Horizontale und vertikale Distanzen von der Lokalität zur Tiefenlinie bzw. zur Wasserscheide und die prozentuale vertikale Distanz in Relation zu Tiefenlinie und Wasserscheide kamen neben Hangneigung und -richtung als geomorphologische Variablen und klimatischen und bodenphysikalischen Variablen zum Einsatz. Die Höhendistanz zur Tiefenlinie (vgl. 5.2.3.9) wurde für das untere Viertel der Hänge als relevant erkannt. Exposition, der oft Bedeutung für Pflanzengesellschaften beigemessen wird, war nicht eindeutig mit der Bodenfeuchte korrelierbar. Der Grund können die hohen Niederschläge bei zugleich günstiger Wasserspeicherkapazität der Böden sein. Die jahreszeitlichen Wechsel der Feuchte in allen Tiefen waren auf Oberhängen am größten, auf Unterhängen am geringsten.

Das Programm SARA (KÖTHE & LEHMEIER 1993) wurde nicht nur im Rahmen von bodenkundlich-substratbezogenen Arbeiten verwendet (4.2), sondern fand auch in Bereiche der Hydrologie, der Abflusssimulation, Eingang (GEROLD 1999:81). „... flächenhafte Reliefseinheiten wurden mit ... Messungen zur Erfassung der Bodenfeuchte ... in Beziehung gesetzt und der Zusammenhang ... geprüft.“ Es konnten „vier verschiedene Reliefseinheiten als HRU's [hydrological response units] mit charakteristischen Unterschieden in der Bodenfeuchte statistisch abgesichert werden. Dabei nimmt die Bodenfeuchte im Mittel von den Senken- über die Konvergenz- und Intermediär- / Divergenzbereiche bis zu den Scheitelflächen kontinuierlich ab.“

Im weiteren Sinn gehören auch Anwendungen der Reliefanalyse im medizinisch-klimatischen Bereich zu dem Thema „Wasserhaushalt“. GÜSSEFELDT & SAURER (1992) stellten ein Regressionsmodell der Wärmebelastung des Menschen auf und bestimmten den Reliefefluss mittels einer Hauptkomponentenanalyse. Diese war angebracht, da nur 38 synoptische Klimastationen im südwestdeutschen Mittelgebirgsraum, aber eine relativ große Anzahl von Variablen vorhanden waren. Zuerst wurde aus der absoluten Höhe eine „relative“ Höhe abgeleitet und danach die Verringerung der Informationsredundanz der „Variablen“ per Hauptkomponentenanalyse durchgeführt. Variablenreduktion wird in Abschnitt 6.2.3 behandelt. Variablen waren 121 relative Höhenwerte eines 11x11-Zellen-Fensters (Zellen á 300 m), in dessen Mitte die betrachtete Station liegt. Es ergaben sich schließlich 12 Hauptkomponenten, die Oberflächentypen (~Oberflächenformen, ~Relieftypen) repräsentieren. Sie werden mit der empfundenen Wärmebelastung in Beziehung gesetzt.

4.4 Ansätze zum Thema „Physisch-Geographische Einheiten“

Zuvor wurden reliefanalytische Aspekte der Modellierung und der Beschreibung einzelner Einflußgrößen des Wasserhaushalts vorgestellt. Hier werden diese Aspekte integriert, wobei die Zielgröße eine wie auch immer definierte „Einheit“ ist. Es werden Arbeiten aufgezeigt, die dem Untersuchungsgegenstand „Forststandort“ ähnlich sind. In erster Linie geht es in dieser Arbeit um die Modellierung von forstlichen Standortklassen; sie werden mit den physisch-geographischen Einheiten parallelisiert. Oftmals werden diese Einheiten *site units* genannt, also Standorteinheiten, oftmals aber auch unter Betonung des bodenkundlichen Aspekts *soil units*. Interessant sind die Zielgrößen als solche, ihre Auflösung und die Variablen, mit denen das beste Ergebnis erreicht wird. Dieser Abschnitt wird durch 6.2.6 ergänzt, in dem Anwendungen der Diskriminanzanalyse im physisch-geographischen Bereich vorgestellt werden.

BURROUGH (1986:136) beschreibt den Ablauf bei der Erstellung von bodenkundlichen Einheiten aus seiner Sicht: Nach der Profilbeschreibung und -analyse wird hierarchisch das vorgegebene Klassifizierungssystem mit seinen Kodierungen abgearbeitet, wobei das System eben nur diejenigen Eigenschaften berücksichtigt, die von Sachverständigen als wichtig angesehen werden. Dies funktioniert, solange bei ausreichender Kenntnis „*natural units*“ erkannt werden können, die dann die gewünschte Information transportieren. Voraussetzung ist ein deutlicher Zusammenhang zwischen den als relevant eingeschätzten diskriminierenden Eigenschaften und der Information, die vom Anwender benötigt wird.

Eine Gliederung von Wacholdervorkommen im östlichen Oregon nutzt gleichermaßen bodenkundliche und vegetationskundliche Merkmale (DRISCOLL 1964). Er verwendet bei der Klassifizierung der Einheiten eine dreigeteilte Benennung nach Gattungen der Baum-, Strauch- und Krautschicht. Die vegetationskundlichen Begriffe sind namensgebend für „*vegetation-soil units*“. Zur Trennung der Einheiten oder Assoziationen werden vegetations- und bodenkundliche Kriterien genannt: Grundfläche überdauernder krautiger Pflanzen (%), Boden ohne Pflanzenbedeckung (%), nWSK in einer Tiefe von 5-35 cm (*soil moisture storage*), organisches Material im A-Horizont, Gesamtstickstoff im A-Horizont und die Bodenart (*texture*) im A-B-C-Horizont. Das Feuchteregime wird u.a. über die Exposition gesteuert. *Land management* ist der Hintergrund, wobei die Landschaft nach natürlichen, ökologischen Einheiten klassifiziert wird. Man macht sich zunutze, dass Pflanzengesellschaften und die Böden, auf denen sie vorkommen, Ergebnisse von „*longtime environmental interactions*“ sind. Das spärlich bewachsene Gebiet ist zwar nicht mit bewirtschafteten deutschen Forsten zu vergleichen, die Idee der Integration der Merkmale ähnelt aber der hiesigen Kartierung, die ebenfalls Zeigerarten der Krautschicht berücksichtigt.

Im Rahmen der Klassifizierung von forstlich genutzten Bereichen sprechen TROBAUGH & JOHNSON (1988:127) von zwei Systemen, die in den USA gebräuchlich sind: Das Ein- und Multifaktorensystem: Zu dem ersten gehören z.B. rein bodenkundliche Aufnahmen oder Habitatklassifizierungen. In dem zweiten System (*ecological forest site classification*) sind Klima, Geologie / Ausgangssubstrat, die Physiogeographie des Raumes, die Böden und die Vegetation enthalten.

PREGITZER & BARNES (1984) versuchen die relative Eignung von einerseits physischen Faktoren wie Topographie und Boden, andererseits der Vegetation bei der Unterteilung von elf zuvor im Gelände festgelegten *ecosystem units* zu vergleichen. Dies wird im Rahmen der Methodik weiter erläutert (6.2.6).

CARTER et al. (1999), „*Ecological land classification in the Southern Loam Hills of South Alabama*“, unterscheiden neun *landtypes* bzw. drei übergeordnete *landtype associations* zuerst anhand kartierter

Pflanzenarten. Dann differenzieren sie die Einheiten statistisch mit *environmental variables* wie Profiltiefe, Versickerungswerten, Phosphor im A-Horizont und Ton- und Schluffgehalt im B-Horizont.

Bei MCNAB et al. (1999) wird „*An approach to ecosystem unit classification in western North Carolina, USA*“ vorgestellt. 79 Meßorte werden anhand von topographischen und bodenkundlichen Variablen zu fünf Einheiten zusammengesetzt. Dabei sind die Bodenvariablen A-Horizontmächtigkeit, Mg-Gehalt und pH-Wert die offensichtlich am besten trennenden Variablen, im Bereich der topographischen Daten ist es die Geländehöhe. Von der großen Zahl von 185 Pflanzenarten blieben schließlich etwa 20, deren Vorkommen auf homogene ökosystemare Einheiten unter Einsatz von Clusterverfahren schließen lassen.

HUTTO et al. (1999) beschreiben eine Klassifikation, „*Preliminary ecological land classification of the Chauga Ridges Region of South Carolina.*“ ähnlich wie MCNAB et al. (1999). Die fünf Variablen *landform index*, *terrain shape index*, Mächtigkeit der durchwurzelten Materials, Neigung und Hangposition wurden zur Aufteilung in vier Einheiten erfolgreich herangezogen. Die Beschränkung nur auf geomorphologische und abgeleitete Variablen war ebenso erfolgreich.

SKIDMORE et al. (1991) zeigen den Nutzen eines „*expert system to map forest soils from a geographical information system*“. Das Expertensystem besteht u.a. aus Regeln, die die Reliefinformationen, einen Bodenfeuchteindex und die Vegetationsinformation verbinden und in einer Karte mit Boden-Landschaftseinheiten niederlegen. Eine Matrix aus „*prior probabilities*“, die auf der Meinung eines Bodenkartierers und den Ergebnissen von Bodenprofilaufnahmen beruht, dient zum Aufbau des Systems: Als Kernstück werden den Werten der *environmental variables* Wahrscheinlichkeiten des Zusammentreffens mit fünf „*soil-landscape units*“ zugeordnet. Dies ist die *a-priori*-Information. In Verbindung mit den eigentlichen Werten an konkreten Orten ergibt sich die *posteriori*-Wahrscheinlichkeit. Sie wird für alle Wertekombinationen der *environmental variables* berechnet und danach hypothetisch die Einheit festgelegt.

Konform der in dieser Arbeit propagierten getrennten Modellaufstellung für Teilräume Niedersachsens (Harz, Solling, Bergland) handeln auch GESSLER et al. (1995:423), die ein Untersuchungsgebiet in Australien zuerst anhand der Kombinationen von Geologie und Reliefform gliedern und dann in jedem einzelnen Bereich *soil-landscape models* entwickeln.

Verwandte Arbeiten, die auch auf die Bereitstellung von Variablen zur Gliederung des Raumes in „Einheiten“ abzielen, sind: „*A contour-based topographic model for hydrological and ecological applications.*“, „*Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications.*“ und „*Soil attribute prediction using terrain analysis*“. (MOORE et al. 1988, 1991, 1993).

HUBER (1994, vgl. 3.1.2) stellte mit dem übergeordneten Ziel der Erstellung eines Konzepts für die Digitale Geoökologische Karte eine „*hypothetical soil map*“ vor (S. 109). Es ergeben sich fünfzehn „*terrain based soil units*“, deren Parallelisierbarkeit mit kartierten Einheiten teils vorhanden ist, teils insofern nicht besteht, als dass die digital abgeleiteten Einheiten zu differenziert bzw. zu häufig sind (Bsp. Kuppen und Oberhänge). Zusammen mit weiteren hypothetischen Karteninhalten (Erosion, Evapotranspiration), die allesamt im Gelände verifiziert und ergänzt werden müssen, was wegen des Kostenaufwandes kritisch gesehen wird, ergibt sich schließlich eine Bewertung der Landschaft. Dabei bilden die Prozesse, die mit den Merkmalen assoziiert werden, einen wichtigen Baustein. Das dort umrissene Vorgehen suggeriert wegen der Vielzahl der Aspekte erfolgreiches Modellieren, beinhaltet dabei aber geringe Praktikabilität: Es sind nicht „*terrain based soil units*“ wiedergegeben, sondern morphographische Einheiten, deren bodenkundliche Wertigkeit erst assoziiert und validiert werden muß.

Teil II Modellbasis und Modellaufstellung

5 DATENBASIS: ERSTELLUNG und MODIFIKATION

Im folgenden ist unter „Datenbasis“ die Gesamtheit der Höhendaten (Angabe der Geländehöhe in m ü.NN und Strukturdaten), geologischer Daten aber auch der Standortdaten selbst zu verstehen. Die drei Datengruppen wurden im Lauf des Modellaufbaus umgearbeitet. Dies muss erläutert werden, weil Modellierungsergebnisse beeinflusst werden können. Der Begriff Informationslagen (IL) wurde eingeführt, um einen Sammelbegriff für alle *grid layer*, die als einzelne Information über die Geländeeigenschaften fungieren, zur Verfügung zu haben. Ein Sammelbegriff ist angebracht, weil diese Eigenschaften entweder geomorphologischer, topoklimatischer, bodenkundlicher oder geologischer Natur sind, d.h. aus unterschiedlichen thematischen Bereichen stammen.

5.1 Forstliche Standortdaten

Inhaltlich sind die niedersächsischen Standortdaten in Abschnitt 2.3 ausführlich vorgestellt worden. Nun ist ihre geometrische Auflösung zu diskutieren. Da alle Modellberechnungen auf Rasterdatenbasis ablaufen, mußten die Basisdaten der FSK10 in *grids* umgewandelt werden. Dabei stellt sich die Frage nach der adäquaten Zellengröße.

LANG et al. (1993) gehen in ihrer Untersuchung von der Standortkundlichen Bodenkarte von Bayern 1:25.000 aus und versuchen anhand einer „bestimmten Struktur“ (S. 28), offensichtlich einer an die Tiefenlinien gebundenen Bodeneinheit, eine geeignete Zellengröße zu bestimmen. Sie sollte so gewählt sein, dass eine Verkleinerung, also höhere Auflösung, keine zusätzliche Information hervorbringt. Getestet wurden Maschenweiten von 800 bis 0.78125 m, um schrittweise die Kennzahl „Box-Dimension“ (D_b) zu berechnen. Sie zeigt -in einem Diagramm aufgetragen- an, ab welcher Zellengröße keine Informationsänderung der Rasterkarte mehr auftritt. Ab einer Weite von 20 m sei kaum noch Änderung zu erwarten. Dies gilt für eine analoge Basiskarte im Maßstab 1:25.000. Bei der FSK10, die im Maßstab 1:10.000 vorliegt, sollte insofern eine größere Auflösung, wie z.B. 10 m, gewählt werden.

Diese Einschätzung kann auf anderem Weg untermauert werden: Flächen der Komponente „Bodenfeuchtigkeit und Geländeform“ (BFG) mit dem Wert 6 (~andauernd naß, quellig) sind in der Regel klein, oftmals oval, aber auch linienhaft. Im Westharz, der hier zur Verdeutlichung des Problems herangezogen werden kann, weil es sich nicht um ein naturraumgebundenes Problem handelt, sind etwa 1900 solcher Flächen kartiert. Durch die zwei Umwandlungsschritte Polygone → Zellen → Polygone kann man testen, wie groß die Zellen sein müßten, um eine ähnliche Verteilung unter dem Kriterium der Flächenanzahl vorzuhalten.

Setzt man die Polygone in Zellen von 20x20 m um, so ergeben sich etwa 2550 Flächen, weil einige Polygone wegen ihrer Form in Relation zur Zellenkonstellation auf mehrere Teilflächen verteilt werden. Diese sind nur über die Ecken verbunden. Eine weniger starke Änderung tritt bei 10x10 m-Zellen auf, 2180 Flächen entstehen. Die nahezu ursprüngliche Anzahl bleibt erhalten, wenn die Zellengröße 5x5 m beträgt, nämlich 1950 Flächen. Die Flächenanzahl als solche ist modelltechnisch nicht entscheidend, aber sie zeigt indirekt den Versatz der ursprünglichen Flächen an. Denn überall dort, wo Flächen zergliedert werden, liegt nun ein Wert vor, der in diesem Fall ungleich BFG 6 ist. Dies könnte bei der Modellierung bedeutsam sein, weil an diesen Orten klassenuntypische Werte der Reliefmerkmale vorliegen könnten.

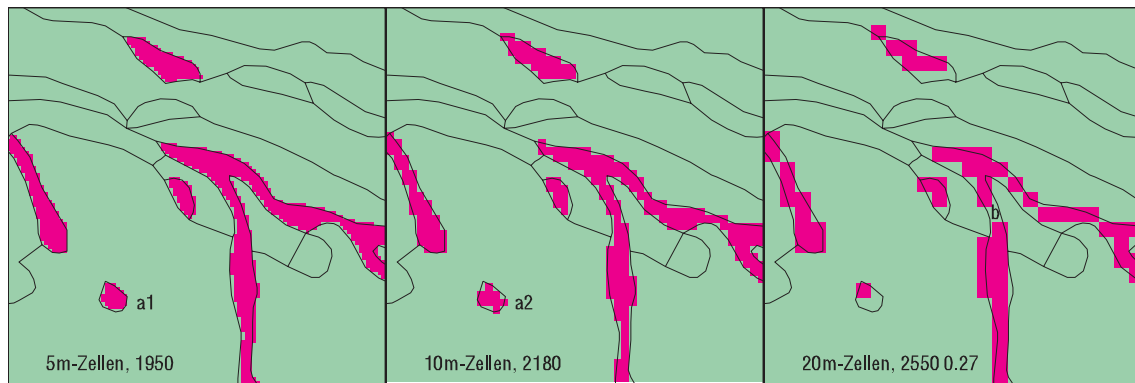


Abb. 12: Lage von Zellen der BFG-Klasse 6 in Relation zur Kartierung. Umwandlung der Polygone (Linien) zu Rasterdaten. Text: links Zellengrößen, rechts Flächenanzahl im gesamten Westharz. Ausschnitt 3602300 5749500 3602800 5750000. Maßstab 1:10.000.

Die Abb. 12 zeigt die räumliche Auflösung. Bei 5x5 m-Zellen (links) ist fast polygonale Flächenschärfe gegeben. Ist die Größe auf 10x10 m heraufgesetzt, werden auch kleine punkartige Flächen noch näherungsweise gut abgebildet (a1). Das ist bei 20x20 m-Zellen nicht mehr der Fall (a2). Ein linienhafter Verlauf der Klasse 6 kann abreißen, wenn die Größe auf 20x20 m steigt (b). Eine Umwandlung in Zellen von 12,5x12,5 m Größe, wie es auch den Basishöhendaten entspricht (5.2), ist nicht angebracht: Die Flächenanzahl entspricht zwar mit 2220 fast der von 10x10 m-Zellen, aber eine adäquate Nachbildung der Polygone ist nicht mehr zu leisten, wie sich aus der Betrachtung der noch akzeptablen Zellengröße 10x10 m (mitte) ergibt. Die 10x10 m großen Zellen kann man als adäquat ansehen, da sich die Anzahl der Flächen kaum von der Idealversion mit 5x5 m-Zellen abhebt und auch die Form und somit die Lage der Flächen etwa gleich bleiben.

Zusätzlich kann pragmatisch argumentiert werden. Würde man 5 m-Zellen benutzen, ergäben sich 16 mal so viele Zellen wie bei 20 m-Zellen; dies ist allerdings ein Nachteil im Bereich der Modellierungsgeschwindigkeit und Datenhaltung. Wenn klar ist, dass die Zellengröße zwischen 20 m und 5 m rangieren sollte, so ist es anwendungsfreundlicher, einen glatten Wert zu benutzen, also 10 m anstatt z.B. 9 m. Somit fiel die Entscheidung auf 10 m-Zellen.

5.2 Höhendaten und Reliefdaten

5.2.1 Produktion und Transformation

Der Begriff DHM (Digitales Höhenmodell), wie z.B. auch bei BORKOWSKI & MEYER (1994) verwendet, steht für einen Datensatz, der die diskrete Höhe der Erdoberfläche über NN an einem bestimmten Punkt oder für eine Zelle beschreibt. Oftmals wird dafür auch der Begriff DGM (Digitales Geländemodell) (WASHAUSEN 1992) oder DTM (*digital terrain model*) (EBNER 1992) verwendet, obwohl das „Gelände“ die Gesamtheit aller Merkmale eines Ausschnitts der Erdoberfläche beinhaltet und nicht nur aus der Höheninformation besteht. Deshalb wird im folgenden von einem DHM gesprochen, auch wenn die offiziellen Bezeichnungen teils davon abweichen. Es ist mit dem DEM (*digital elevation model*) (GARDNER et al. 1990) gleichzusetzen, in dem ebenfalls nur die absolute Höhe vorgehalten wird. Eine Begriffserläuterung ebenfalls mit der Entscheidung zugunsten von DHM gibt FRIEDRICH (1996:35).

Auf die Herkunft von Höhendaten geht FRITSCH (1995) im Rahmen der Ableitung digitaler Geländemodelle aus MOMS02/D2-Bilddaten ein. Für ein Beispielgebiet in den Anden wird ein Höhenmodell mit 200 m Rasterweite und einer Genauigkeit von 12-15 m produziert. Hier zeigt sich die ausreichende Verwendbarkeit der Satellitenauswertung in unwegsamen Gelände mit

großen Höhendifferenzen. Auch ACKERMANN (1993:20f) beschreibt das MOMS-02-Stereosegment als ein hochgenaues System der digitalen Photogrammetrie. Er nennt drei Genauigkeitsklassen von DHMs: Diejenigen, die Kartenmaßstäben von 1:250.000 und kleiner entsprechen, diejenigen entsprechend Maßstäben von 1:25.000 bis 1:100.000 mit Genauigkeiten von 2 bis 5 m und schließlich diejenigen entsprechend den Maßstäben von 1:5.000 bis 1:10.000 mit einem Genauigkeitsanspruch von etwa 0,5 m. Das Stereo-MOMS-Konzept sei auf die zweitgenannte, mittlere Genauigkeit ausgerichtet. Die höchste Genauigkeit, korrespondierend mit flächendeckenden Grundkarten, könne allerdings aus „Weltraumbilddaten bis auf weiteres“ nicht erreicht werden.

SCHNEIDER (2000) stellt aktuelle Wege zur DHM-Erstellung vor: Das Space Shuttle „Endeavour“ kartierte die Erde mit Radarwellen. Besonders durch dieses Projekt wird einerseits die Wichtigkeit von flächendeckenden, homogen erfassten und korrekten Höhendaten unterstrichen, andererseits werden aber auch die enormen technischen Möglichkeiten anschaulich vorgeführt. Das Problem der Erfassung der Höhenrohdaten für bewaldete Bereiche, die in der Regel weniger genau durch terrestrische Vermessung kartiert worden sind, wird durch die Technik der Radarfernerkundung und der Laserscannerbefliegung (KRAUS & PFEIFFER 1998) zur Zeit gemindert.

Für den Zeitpunkt 1990/1991 stellte LEHMEIER (1991) den Stand der DHM-Verfügbarkeit zusammen. Die Rasterweiten lagen zwischen 10 m (NRW) und 50 m (z.B. Baden-Württemberg). Eine separate Berücksichtigung von Geländekanten, also der Strukturinformation (7.2.9), wurde von den Bundesländern unterschiedlich gehandhabt: Sie fehlt, wird teilweise erstellt oder ist generell vorhanden. Höhenfehler belaufen sich -einhergehend mit der Rasterweite- auf 0,1 m bis 10 m. Im Prinzip werden nur zwei Verfahren der Datengewinnung genannt, erstens die Digitalisierung von Isohypsen z.B. der DGK5 und zweitens die photogrammetrische Messung in unterschiedlicher Punktweite oder im Isohypsenverlauf. Niedersachsen beispielsweise arbeitete mit Abständen von 37,5x37,5 m. Gemein ist den Verfahren eine abschließende Interpolation der Höhenwerte auf ein Zielraster, in Niedersachsen auf 12,5x12,5 m. Dazu diente das Programm TOPSY (Topographisches System) der Landesvermessung.

Umfassend erläuterte WASHAUSEN (1992) die Modelle des Landes Niedersachsen, das DGM5 und das DGM50. Er verweist auf die Probleme der DHM-Erstellung, die mit dem Bewuchs verbunden sind: „Rund 15 % des niedersächsischen Landesgebietes sind mit Nadelwäldern bedeckt und daher photogrammetrisch nicht auswertbar.“ Terrestrische Ergänzungsvermessung schaffen Abhilfe. Ein Großteil dieser Flächen liegt im Tiefland. Aber auch in dieser auf das Bergland bezogenen Arbeit ist der Umstand von Bedeutung. Landesweit würden sich 85 % der Höhendaten photogrammetrisch ableiten lassen. Da aber zu der Zeit bereits viele analoge DGK5-Blätter mit Höheninformation (DGK5 N) vorlagen hat man diese Information in den Gesamtdatenpool eingebracht. Ältere Karten (60er Jahre und früher) mußten dazu korrigiert werden (S. 186f). Waren schließlich Höhenlinien als originäre Höhendaten vorhanden, wurden sie digitalisiert, wobei auf die Dichte (1-10 mm) der Stützpunkte in „Abhängigkeit von ihrer Krümmung“ zu achten war: „Scheitelpunkte und Punkte in Krümmungswechseln sind in jedem Fall zu erfassen.“ (S. 188).

Die DHM-Daten Niedersachsens weisen die sog. Qualitätsstufen 1 und 2 auf. Beispielsweise südlich des Rev. Gittelde (Abb. 1) finden sich mit Nadelholz bestockte Flächen der Stufe 2. Die Eignung solcher Daten zur Modellierung wird in 7.2.9 diskutiert.

Bei Arbeiten mit digitalen Höhenmodellen treten Fragen nach Interpolationsregeln und Rasterweiten auf. Höhenlinien und -punkte stellen Vektordaten dar, die oftmals, wie auch oben beschrieben, die Basis oder ein Teil der Basis sind. Das Ziel sind aber meistens Zellenhöhenwerte (*grids*), da mit ihnen die Berechnung der geomorphologischen Größen durchgeführt wird. Dazwischen stehen die berechneten, interpolierten Höhenpunktweite als Vektordaten, die wie die Zellen gleichmäßig verteilt sind. Ein solches *grid* weist eine Besonderheit auf, da seine Höhenwerte genau genommen nur für den Zellenmittelpunkt gültig sind. Derartige *grids* werden *lattice* genannt (vgl. GALLANT & WILSON 1996:714). Sie grenzen sich von anderen *grids* ab, in denen der Wert für die ganze Zelle gültig ist.

Sind für bestimmte Auswertungen keine Zellenhöhenwerte notwendig und liegen primär Vektorhöhendaten (Höhenlinien) vor, so werden diese in TINs (*triangulated irregular network*) umgerechnet. Dabei werden drei benachbarte Höhenwerte verbunden, so dass sie ein Dreieck ergeben. Daraus sind auch Größen wie die Neigung und Neigungsrichtung ableitbar. EBNER (1992:28) stellt die Kombination von Höhendaten in TIN- und Rasterdatenform vor. TIN-Dreiecke und zusätzlich unterschiedlich große Zellen füllen das Gebiet aus. Damit könnten Qualitätsverluste verhindert werden. Eine automatisierte Zuweisung primärer Höhendaten zu den Formaten TIN und *grid* wird nicht erläutert.

BORKOWSKI & MEYER (1994) zeigen ein Verfahren zur Schätzung der Rasterweite für digitale Höhenmodelle aus topographischen Karten. Die Intention ist, dass ein Höhenmodell einerseits vollständig, andererseits aber auch redundanzarm sein soll. Es ist z.B. leicht einzusehen, dass eine größere Ebene nicht mit genauso vielen Einzelhöhenwerten abgebildet werden muss wie ein zergliederter Hang. Man nutzt die „Horizontalschnitte des Geländes (=Höhenlinienbild) ...“ und dabei die „direkte Information über die Linienlängen“. Die Linienlänge innerhalb von Flächeneinheiten bzw. Höhenniveaus wird herangezogen und „über die Varianz der Geländeneigung, hinreichend genau schätzbar aus Linienlängen in mindestens drei Niveaus“, kann eine geeignete Rasterweite abgeleitet werden (S. 5).

MEIER & ENDLICH (1995) gehen ebenso auf die Rasterweite für digitale Geländemodelle aus topographischen Karten ein: Sie sprechen von landschaftsgebundenen Werten, die allerdings nur für Bundesländer mit mehreren „Relieftypen“ (Tiefland, Bergland) empfohlen werden können. In Abgleich mit der Maßstabszahl und mit der Geländeneigung wurden früher ideelle Äquidistanzen analoger Höhenlinien berechnet, „... analog dazu kann man ideelle Rasterweiten“ schätzen. Die geschätzten ideellen Weiten werden mit den aktuellen Weiten der Datenbestände einiger Bundesländer verglichen: Die Weite des DGM5 Niedersachsens mit 12,5 m sei zutreffend, wenn man minimale Höhenlinienabstände von 0,25 m im Tiefland anhält bzw. wenn derartig genaue „Zwischenhöhenlinien zur Interpolation der Höhenwerte benutzt wurden.“ (S. 13). Der „landschaftsbezogene“ Wechsel zwischen DHM-Zellengrößen innerhalb eines Gebietes ist zwar erstrebenswert aber unüblich, wenn auch bei MEIER & ENDLICH (1995:13) für das Land Sachsen empfohlen. Diese Datenstruktur wird allerdings nicht vorgehalten (www.lvsn.smi.sachsen.de, Stand 12.12.2000).

Mit der Bestimmung der flächigen Aussageschärfe von Hangneigungs- und Standortskarten beschäftigten sich LANG et al. (1993). Sie nutzten dabei TK25-Höhendaten. Hangneigungswerte wurden von anhand der „geodätischen Grundvermessung“ erhobenen Daten, die auf 4 m-Raster interpoliert wurden, berechnet. Sie dienten als Referenzwerte in einem etwa 125 ha großen Testgebiet. Höhenlinien und Höhenpunkte der TK25 und trigonometrische Bodenpunkte stellten die Basishöhenwerte dar. „Das DGM wurde über Triangulationsverfahren erzeugt“. Bei der Benutzung des GIS ARC/Info könnten in diesem Schritt Toleranzwerte optional eingesetzt worden sein, was allerdings unklar bleibt.

Aus der Dreiecksvermaschung (s.o.) wurde „... das DGM mit den Zellenwerten 4, 12, 24, 48 und 96 Meter gerastert“, mit diesen Zellengrößen die Hangneigung berechnet und schließlich die Zellen der Hangneigung, soweit größer als 4x4 m, auf diese geringe Zellengröße „verfeinert“ (LANG et al. 1993:26). Dann wurden Vergleiche dieser Neigungswerte mit der Referenz, u.a. über Korrelationskoeffizienten, angestellt. Das Ergebnis war, die Zellengröße 24 m zu favorisieren.

Die Qualität von Modellierungsergebnissen hängt von der Auflösung und Höhengenaugigkeit des DHM ab. Dies stellten BARSCH & DIKAU (1989:16) bei den konzeptionellen Vorarbeiten zu einer digitalen geomorphologischen Basiskarte fest und testeten Rasterweiten von 5 bis 50 m. Eine Rasterweite von 40x40 m wird für geomorphographische Untersuchungen erst ab einem Maßstab von 1:50.000 und kleiner als geeignet angesehen (FRIEDRICH 1996:160).

Sicher ist die Größe der Rasterzellen des DHM für die Werteverteilung bestimmter Merkmale mitentscheidend. FLORINSKY & KURYAKOVA (2000) beschäftigen sich explizit mit der Wahl einer geeigneten Zellengröße zwischen 1 und 7 m für die Bestimmung von „*topographic variables*“, die zur Herleitung der Bodenfeuchte im *micro-scale*-Bereich genutzt werden sollen.

Auch WISE (1998:139ff) betrachtet die Eignung verschiedener DHM und Berechnungsmethoden für Ableitungen wie Neigung, Exposition, Wölbung und Einzugsgebietsgröße und benennt einige Unterschiede. Allerdings konstatiert er beispielhaft zu dem Geländemerkmal „*drainage channel*“: „*at some scale the effect of interpolation errors may be reduced*“. Die Modellunterschiede werden also ab einem bestimmten *scale*, hier im Sinn der Größe eines Ausschnitts, verwischt.

Die Festlegung einer spezifischen Zellengröße je nach Datenbasis und Anwendungsziel in Einklang mit Bearbeitungsaufwand und Datenhaltung ist ein beachtenswerter Arbeitsbereich bei der DHM-Nutzung. Abschnitt 5.2.2 erläutert dies im Kontext der vorliegenden Arbeit.

5.2.2 Aufbau und Modifikation der Höhendatenbasis

DHM nach DGM5:

Da das Modellierungsergebnis genau wie die Standortreferenzdaten (5.1) eine Auflösung von 10x10 m haben sollte, müssen die Höhendaten ebenso aufgelöst sein. Viele der in den Modellen anzuwendenden Variablen sind aus Höhendaten abgeleitete geomorphologische Variablen, deren Auflösung sich in Standortklassen fortpflanzen wird.

Das DGM5 mit seiner Auflösung von 12,5x12,5 m stellt die primäre Datenbasis dar. Primär liegen zwar auch ungleichmäßig verteilte Vektorhöhendaten für den Harzrand vor. Sie sind nicht das Produkt eines Interpolationsverfahrens. Zum Großteil besteht aber eine gleichmäßige Zellendatenbasis: Sie ist aus bereits berechneten Höhenwerten aufgebaut. Es stellt sich somit die Frage, ob eine Veränderung der primären Höhendaten im Abstand von ursprünglich 12,5x12,5 m gerechtfertigt ist. Dies wiederum hängt von der Höhenabweichung ab, die durch die Veränderung, durch ein *resampling*, verursacht wird. Das bilineare Verfahren wurde beim *resampling* verwendet: Es berechnet ein gewichtetes Mittel aus den Werten der vier nächstliegenden Zellenmittelpunkten des Eingangsgrids (ESRI 1999). Da Eingangs- und Ergebnisgrid nicht gegeneinander rotiert sind und das Ergebnisgrid die kleinere Zellengröße aufweist, liegen die herangezogenen Zellen (und somit deren Mittelpunkte) distanz- und richtungsbezogen recht gleichmäßig verteilt. Bilinear ist das Verfahren insofern, als dass für den x- und y-Wert des Zielpunktes die herangezogenen Punkte mit je zwei parallelen Linien verbunden werden. Auf ihnen wird dann gewichtet mit der Lage des Zielpunktes der Zielhöhenwert ermittelt.

Die anderen Verfahren, *nearest* und *cubic*, wurden verworfen. Im ersten Fall fehlt eine Interpolation und im zweiten Fall werden die 16 nächsten Punkte, also auch diejenigen in größerer Entfernung, benutzt.

Ein Vergleich der Höhenwerte ist schwierig, weil die Zellen wegen unterschiedlicher Größe auch unterschiedliche Kongruenz aufweisen. Bildet man Differenzen (Subtraktion), so ergibt sich ein vertikales und horizontales Streifenmuster der Differenzgrößen, was die ungleichmäßige, fehlende Kongruenz wiedergibt. Unabhängig davon, welche Zellengröße und somit Lage man bei dem Vergleichsgrid einstellt, das Problem bleibt das selbe.

Man könnte die Differenzen an zufällig gestreuten Punkten messen, würde aber nichts über die eventuell veränderte Höhendatenkonstellation erfahren. Diese ist aber wichtig, weil durch Höhendifferenzen im Raum die geomorphologischen IL bestimmt werden. Ein Vergleich zweier abgeleiteter IL, z.B. Neigung nach 12,5x12,5 m-Raster gegenüber Neigung nach 10x10 m-Raster, birgt das gleiche Zellenkongruenzproblem wie zuvor beschrieben. Es könnte gemindert werden, wenn man klassifizierte Daten heranziehen würde.

Desweiteren kann das Höhenlinienbild über Abweichungen zwischen den Daten Aufschluß geben. Es zeigten sich nahezu keine Differenzen. Lediglich die starken Krümmungen der Höhenlinien in Talbereichen präsentierten sich unterschiedlich: Nach dem 12,5x12,5 m-DHM waren sie etwas spitzer ausgeformt. Dies bedeutet eine etwas stärkere Krümmung. Da die Höhenlinien nach 10x10 m-DHM aber eine natürlicher erscheinende Form aufwiesen und die Lageabweichungen sehr gering waren (wenige m in x-y-Richtung) wurde das moderatere Abbilden des Reliefs akzeptiert. Deshalb wurden keine weiteren Prüfungen auf Unterschiede durchgeführt. Im Verlauf späterer Arbeiten ergaben sich keine Mängel, deren Grund im *resampling* der Höhendaten zu suchen wäre.

DHM nach TK25:

Für den Harzrand, der wegen seiner Höhenlage und geologischer Gegebenheiten als Bergland aufgefaßt wurde (Abb. 1, Abb. 3), lagen keine DGM5-Daten vor. Es wurden aber zuvor im Institut für Forstliche Biometrie Höhendaten (Linien und Punkte) des Westharzes aus sechzehn TK25-Blättern digitalisiert (Quelle: Landesvermessung + Geobasisinformation Niedersachsen (LGN) mit Erlaubnis vom 10.02.99.) Die primären Höhendaten wurden folgendermaßen behandelt:

- Verdichtung der Höhenwerte im Linienverlauf durch *grain* und *spline* (ESRI 1999), Dichte 10 m.
- Schrittweise automatisierte Ergänzung der Höhenpunkte durch wiederholte Auswahl von TIN-Labelpunkten flacher TIN-Dreiecke und Belegung dieser Punkte mit Höhen durch Interpolation.
- Verwendung der *tinlattice*-Funktion mit der Option *quintic* (ESRI 1999).

Im letzten Schritt wird bereits die erwünschte Zellengröße von 10x10 m erreicht. Ausgehend von den primären Höhendaten im Maßstab 1:25.000 ist das Relief weniger zergliedert als es ein DHM der Qualität des DGM5 abbilden würde. Die Zellengröße 10x10 m suggeriert auch eine Genauigkeit, die den Basisdaten nicht innewohnt. Wegen der erwünschten Vergleichbarkeit aller geomorphologischen Informationen im ganzen Bergland wurde aber diese geringe Zellengröße angewandt. Eine Größe von 20x20 m, ähnlich wie bei LANG et al. (1993, s.o.) vorgeschlagen, erscheint hingegen adäquat, wenn sich die Modellierung nur auf den TK25-Datenbereich beziehen würde. Ein geringer und deshalb hingenommener Mangel ist die Wölbung im Hangprofilverlauf trotz des Vorliegens eines weitgehend gestreckten Hanges. Im Talbereich, der oftmals der Problembereich von DHMs ist, treten nicht häufiger unplausible Höhenverteilungen auf als bei dem primären DGM5 des übrigen Berglandes.

Das GIS stellt die Möglichkeit bereit, künstliche Senken, die Fehler im DHM darstellen, zu eliminieren. Dies geschieht mit der Funktion *fill*, im Beispiel mit einem Auffüllen von Senken bis zu 20 m. Dererlei

Senken (*pits, sinks*) werden in der Literatur oft als typische DHM-Fehler genannt, so z.B. bei BURROUGH & MCDONNEL (1998:1995f). Das Auffüllen wurde in beiden Datensätzen (DGM5, TK25) durchgeführt.

5.2.3 Geomorphologische Informationslagen: Intention und Umsetzung

Im folgenden werden die für die Aufgabenstellung produzierten Informationslagen, die im Rasterformat vorliegen, vorgestellt. Soweit diese IL auf keiner vorgegebenen GIS-Funktion beruhen werden sie näher erläutert. Einen Überblick möglicher Ableitungen („*derivatives*“) aus primären Höhendaten geben BURROUGH & MCDONNEL (1998:190f). Eine fünfgeteilte Parametergruppierung von „elementaren Eigenschaften“ zu „komplexen Parametern“ gibt MOSIMANN (2002:47).

Bei der Erstellung eines *grid layers* wird eine Intention verfolgt; man nimmt an, dass er zur Beschreibung bestimmter bodenkundlicher oder geländeklimatischer Eigenschaften dient. Ähnliches wird bei FLORINSKY & KURYAKOVA (2000:817) unter dem Begriff „*physical interpretation*“ formuliert: Beispielsweise wird dort mit der „*horizontal curvature*“ die „*convergence and divergence of substance flows*“ assoziiert. Dererlei Intentionen werden hier ebenfalls genannt, um die Erstellung zu begründen.

Tab. 62 nennt die Informationslagen und verdeutlicht die im Lauf der Modellierung gefundene Verwendung zur Ableitung von Standortstypenklassen. Tab. 61 listet die Modelle selbst auf.

5.2.3.1 Höhe, Neigung- und Neigungsrichtung

Die einfachste Informationslage ist die absolute Höhe (HOE), also die Werte des DHM selbst. Die beiden in der Vergangenheit im Rahmen von DHM-Anwendungen sicher am häufigsten hergeleiteten Informationslagen Neigung und Neigungsrichtung werden z.B. bei BURROUGH & MCDONNEL (1998:190f) beschrieben. Zuerst wird der „*gradient*“ in x- und y-Richtung separat berechnet. Dazu dienen die drei Zellenhöhenwerte nördlich und südlich bzw. westlich und östlich einer Zelle Z0. Eine Betonung (Faktor 2) der Höhenwerte (z) in exakt nördlicher, bzw. südlicher, westlicher oder östlicher Richtung wird vorgenommen. Sind die Gradienten ($\Delta z/\Delta x$ und $\Delta z/\Delta y$) bekannt, ergibt sich die Neigung als Verhältniswert: $rise_run = SQRT(SQR(\Delta z/\Delta x) + SQR(\Delta z/\Delta y))$

Wenn die Neigung z.B. in x-Richtung 20 % (0,2) und die in y-Richtung 30 % (0,3) beträgt, so resultiert daraus ein *slope*-Wert (SLO) von etwa 36 %. Da die Höhe der zentralen Zelle Z0 nicht berücksichtigt wird, stellt sich ein Glättungseffekt ein. Dieser Mangel ist der Methode inhärent, wenn die Darstellung von Anhöhen, Rücken oder Tälern das Thema ist (DUNN & HICKEY 1998:14). Allerdings muss dies nicht bei ausreichend kleinen Zellen, die das Relief gut auskleiden, der Fall sein. Weitere Berechnungsmethoden, allesamt mit Vor- und Nachteilen behaftet, beschreiben diese Autoren.

Einmaliges Ausmitteln von SLO mit der Funktion *focalmean (low pass filter)*, WISE 1998:146) ergab SLOF. Die Neigungsrichtung *aspect* (ASP) ergibt sich in einem der möglichen vier Quadranten eines Koordinatensystems durch die Division der Gradienten y/x, im Beispielfall (0,3 / 0,2), die Anwendung des Tangens und die Addition von 0°, 90°, 180° bzw. 270° ($aspect = \text{invtan}(0,3/0,2) + 90$). Da im Beispiel die Neigung in Richtung y im Verhältnis 1,5 stärker als die in Richtung x ist, ergibt sich die Neigungsrichtung Süd-Südost (146,3°). Konventionell bedeuten die Werte 0° und 360° ~Nord und 180° ~ Süd. Flache Zellen erhalten den Wert -1. WISE (1998:153ff) geht auf den Vergleich der Berechnung der Neigungsrichtung anhand der GIS-Funktionen *aspect* und *curvature* ein.

Zusätzlich wurde eine IL ASPWEST, Abweichung der Neigungsrichtung von West, hergeleitet. Sie weist den Wert 0 für Westrichtung, jeweils 90 für Nord- und Südrichtung und 180 für Ostrichtung auf.

5.2.3.2 Wölbung

In Abschnitt 4.2 wurde auf die Wölbung zur Herleitung von bodenkundlichen Zusammenhängen verwiesen. Die Begriffe Wölbung und Krümmung sind nicht eindeutig voneinander getrennt und werden hier so wiedergegeben, wie sie in der Literatur angeführt werden. Man gewinnt allerdings den Eindruck, dass die Autoren unter Wölbung etwas „flächenhaftes“, eine Relief„einheit“, unter Krümmung hingegen etwas „linienhaftes“ verstehen; die Wölbung ist umfassender und versucht die gesamte „Form“ eines Geländeausschnitts zu beschreiben. Es ist die „Abweichung von einer ebenen Fläche als Folge des Ausmaßes der Neigungs- und Expositionsänderung. Die Wölbung einer Reliefeinheit wird erfaßt mit Hilfe der vertikalen und horizontalen Wölbungskomponente“ (DIKAU 1988:11).

Wölbung und die Merkmale Neigung und Neigungsrichtung sind insofern verwandt, als dass die Vertikalwölbung die Veränderung der Neigung in Fließrichtung beschreibt. Die Horizontalwölbung beschreibt die Neigungsrichtungsänderung im Verlauf der Höhenlinien (FRIEDRICH 1996:56).

Den Stand der Arbeiten bis 1971 erläutert HORMANN (1971:109-113, „Untersuchung von Hangprofilen ...“). Er setzt Längswölbung nach GRIMM (1961) mit Vertikalwölbung nach KUGLER (1964) gleich. KUGLER verdeutlicht die Horizontalwölbung als „Krümmung der Isohypsen“.

GRIMM erläutert die Querwölbung als „Krümmung einer Linie, die durch den Schnitt der Erdoberfläche und einer Ebene entsteht, zu der die Fallinie Flächennormale ist, ...“ (zit. bei HORMANN S. 111).

Neben der Horizontal- und Vertikalwölbung (*plan* und *profile curvature*)⁷ wird auch die Querkrümmung in bodenkundliche Modelle bei FRIEDRICH (1996:56f) einbezogen. Er definiert Querkrümmung als „Krümmung an einem Punkt, in einem im Lot zur Neigung um 90° vom Gradienten (Exposition) verdrehten Schnitt ...“ (S. 58) und nennt weiter die Flußkrümmung, die man sich wie eine Gewässerlinie in der Betrachtung von oben als eine gewundene, gekrümmte Linie vorstellen kann.

FRIEDRICH erläutert Wölbungsmerkmale anhand einer Halbkugel und meint, dass „trotz gleichbleibender Formgestalt die Horizontalkrümmung vom Äquatorialbereich zum Top ... abnimmt.“ Die Horizontalkrümmung, die eine auf der Halbkugel eingezeichnete Höhenlinie ist, nimmt demnach tatsächlich zum Top der Vollform ab; ist dies aber mit „gleichbleibender Formgestalt“ verbunden? Wenn man die Halbkugel als Kuppe oder Hangausschnitt interpretiert, gewinnt man den Eindruck einer geänderten Formgestalt. Insofern ist eine Veränderung des Wertes der Horizontalwölbung in Richtung Top angebracht. Allerdings kommt es darauf an, was ein Reliefmerkmal ausdrücken soll: Es ist einzusehen, dass „sie [die Horizontalkrümmung] keine Aussage über die Krümmung der Form zuläßt, sondern nur die Krümmungen aus Sicht eines künstlichen Horizontalschnitts abbildet.“ (S. 140). In flachem Gelände kann trotz geschwungenem Verlauf der Höhenlinien kaum Wölbung vorhanden sein (HORMANN S. 111). Über die „Form“ als komplexes Gebilde, zugleich in mehrere Richtungen betrachtet, sagt die Horizontalwölbung, wenn man sie quantifizieren könnte, in der Tat wenig aus. Über die Form im Verlauf der Höhenlinien, also über die Änderung der Neigungsrichtung gibt sie aber Auskunft.

⁷ curvature ~ Wölbung. GIS-Funktion curvature erlaubt Ableitung der plan-, profile- und „allgemeinen“ curvature.

Da Materialversatz und Wasserbewegung am Hang zwar dem Wechsel der Neigungsrichtung (Horizontalwölbung) folgt, aber durch das Gefälle und dessen Wechsel initiiert und modifiziert wird, ist sie ökologisch mutmaßlich weniger bedeutsam als die Vertikalwölbung. Die von FRIEDRICH als bedeutsam herausgestellte Querkrümmung könnte durchaus die größte standörtliche Aussagekraft haben, da sie von der Horizontalkrümmung und der Steigung (~ Neigung) abhängt (S. 56, 58).

Oftmals wird Wölbung in Form von Radien in der Einheit Meter wiedergegeben, kleine Radien stellen starke Wölbung dar. Die Bestimmung der ungefähren Radien im Gelände über Strecken und Winkel wird anschaulich bei LESER & STÄBLEIN (1975:26f) erläutert. Konkavität wird durch negative, Konvexität durch positive Werte verdeutlicht. Dies führt, wie bei FRIEDRICH (S. 58) erwähnt, zu geomorphologisch sehr unterschiedlich bedeutsamen Werten, die numerisch aber sehr nah beieinander liegen, nämlich nah dem Wert 0. Er löst das Problem durch Berechnung der Krümmung (1 / Radius). Auch in der vorliegenden Arbeit tragen starke „allgemeine“ Wölbungen (*curvature*) kleine negative bzw. große positive Werte (konkav, konvex).

Die GIS-Funktion *curvature* wurde benutzt. Es ergeben sich Horizontal- und Vertikalwölbung (PLA, PRO) und die „allgemeine“ Wölbung (CUR). Das GIS berechnet die Wölbungen laut *User's Guide* nach ZEVENBERGEN & THORNE (1987). Man geht von einer 3x3 Zellenmatrix aus, in der für die zentrale von neun Zellen die Wölbung errechnet werden soll. Im Idealfall sollte eine Anpassung erfolgen, die der Konstellation aller neun Höhenpunkte optimal gerecht wird: „... choosing a surface, which does pass exactly through the nine submatrix elevations“ (S. 49). In der Praxis werden Höhenwerte der Zellen, die sich allseitig der betrachteten Zelle (Z0 bzw. Z5) gegenüber liegen, in separaten Gleichungen herangezogen (links Zellennumerierung, mitte Höhenangabe in m):

Z1	Z2	Z3	75	73	74	$E = [Z_2 + Z_8] / 2 - Z_5 / L^2$ $D = [Z_4 + Z_6] / 2 - Z_5 / L^2$ (Z = Höhe, L = Zellenkantenlänge)
Z4	Z5	Z6	72	70	71	
Z7	Z8	Z9	69	67	68	

Je nachdem, ob die Höhe von Z5 unter oder über einer Geraden, die Z2 und Z8 bzw. Z4 und Z6 verbindet, liegt, ergeben sich positive oder negative Zwischenwerte. Alle Zellenwerte werden auch benötigt, um die Konstellation der Höhen zu erkennen und dadurch die Gleichungen aufstellen zu können (ZEVENBERGEN & THORNE 1987:49f).

Die von dem GIS berechnete „allgemeine“ Wölbung (*overall curvature*) ist von beiden Komponenten, der Vertikal- und Horizontalwölbung, gleichermaßen abhängig. Je nachdem, welcher der beiden Absolutwerte der separaten Wölbungsmerkmale bei entgegengesetzter Wölbungstendenz stärker ist, ergibt sich „allgemein“ konvexe oder konkave Wölbung. Die Stärke ist von der Differenz abhängig.

Es müssen Absolutwerte statt der ursprünglichen Werte für PLA und PRO benutzt werden, um aus den beiden Variablen die *overall curvature* abzuleiten. Außerdem wird entweder subtrahiert oder addiert, je nachdem, ob die gleiche Wölbungstendenz vorliegt oder nicht. Konkavität ist negativ ausgedrückt. Es ergeben sich 8 separate Berechnungen, um aus PLA und PRO die *overall curvature* CUR herzuleiten. Bsp.:

Ungleiche Tendenz:

Stärker vertikal konvex -0.5, weniger horizontal konkav -0.3 → 0.5 - 0.3 = 0.2 = mäßig konvex

Stärker vertikal konkav 0.5, weniger horizontal konvex 0.3 $\rightarrow 0.5 - 0.3 = 0.2 * -1 = -0.2$ mäßig konkav

Gleiche Tendenz:

Stärker vertikal konvex -0.5 , weniger horizontal konvex 0.3 $\rightarrow 0.5 + 0.3 = 0.8 =$ deutlich konvex

Stärker vertikal konkav 0.5, weniger horizontal konkav $-0.3 \rightarrow 0.5 + 0.3 = 0.8 * -1 = -0.8$ deutlich konkav

In der ARC/Info-Diskussionsliste wurden die drei Ergebnisse der Funktion *curvature* besprochen (REUTER 2002). Da eine Diskrepanz zwischen der zugrunde liegenden Literatur und dem *User's Guide* vorliegt und vertikale und horizontale Konvexität mit negativem bzw. positivem Vorzeichen belegt ist, ist die Ableitung der *overall curvature* nach dem *User's Guide* kaum nachzuvollziehen.

Eine Gleichgewichtung von Horizontal- und Vertikalwölbung nehmen auch FLORINSKY & KURYAKOVA (2000:817) vor. Dies ist allerdings nur ein Kompromiß bei der Quantifizierung der Wölbung der Gesamtform, vor allem, wenn die Tendenzen deutlich unterschiedlich sind. Dies kommt aber kaum vor. Nur etwa 2 % der Zellen z.B. im Umfeld des Reviers Gittelde weisen entgegengesetzte Wölbungen mit Werten kleiner als -0.3 bzw. größer als 0.3 auf.

Wegen der Sprunghaftigkeit, die sich auch im visuellen Ergebnis einstellt, wurde die Ergebnisse der Funktion *curvature* mit der Funktion *focalmean* (vgl. SLOF) geglättet. Um eine für die Anwendung unerwünscht weite Streuung der Werte, die je nach DHM durch einbezogene Zellen von z.B. Steinbrüchen oder Trassen erzeugt wird, zu vermeiden, wurden die Wölbungswerte schließlich bei -1 bzw. 1 gekappt. Abb. 13 zeigt die Wölbungswerte in einem unterschiedlich reliefierten, berglandtypischen Bereich.

Man erkennt, dass die extremen Wölbungswerte mit den Bereichen zusammenfallen, die auch starke Horizontal- und / oder Vertikalwölbung aufweisen. Ein Zusammenhang zur Neigung besteht visuell und statistisch zellenbezogen bei Horizontal- und Vertikalwölbung nicht. Dies ist nicht verwunderlich, da die separaten Wölbungsmerkmale von Neigungswechseln (PROF) bzw. Neigungsrichtungswechseln (PLAF) abhängen. Korrelationen zwischen den Wölbungswerten bestehen: PROF – CURF $0,85 r^2$; PLAF – CURF $0,81 r^2$. Zwischen Quer- und Horizontalkrümmung, wie sie von FRIEDRICH (S. 77) verwendet werden, besteht hohe Korrelation, zwischen Quer- und Vertikalkrümmung nur bereichsweise eine geringe Korrelation. Die vom GIS berechnete allgemeine Wölbung aber ist ungleich der Querkrümmung bei FRIEDRICH (S. 56f), da diese eine von der Steigung (\sim Neigung) und Horizontalwölbung abhängige Größe darstellt.

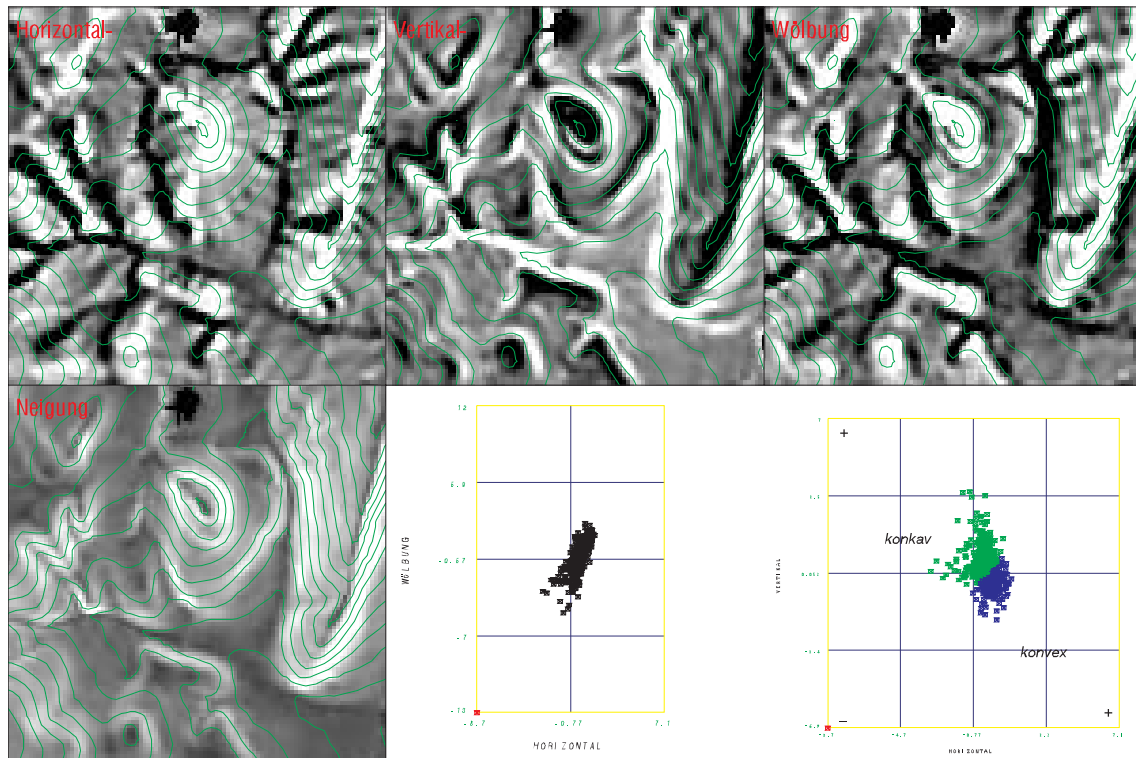


Abb. 13: Horizontal-, Vertikal- und „allgemeine“ Wölbung und Neigung. Hell ~ hohe Werte. Ausschnitt 3580000 5743000 3581000 5744000, Rev. Gittelde. Maßstab 1:20.000. 10 m Äquidistanz. Scattergramm links: Horizontal- gegen allgemeine Wölbung, rechts: Horizontal- gegen Vertikalwölbung mit Wertegruppen der allgemeinen Wölbung. (Schwarz am Nordrand DHM-Fehldaten).

5.2.3.3 Massenbilanzindex

Die „Massenbilanz“ nach FRIEDRICH (1996) wurde in Abschnitt 4.2 angesprochen. Diese Informationslage ist näherungsweise nachgebildet worden. Da aber bis auf die Neigung (°) nicht exakt die gleichen Ausgangsdaten vorlagen, nämlich nicht die Vertikal- und Querkrümmung nach FRIEDRICH, ist das Resultat nur bedingt vergleichbar. Dort lag folgende Intention zugrunde (S. 140):

„Die Oberflächenform zeigt einen Einfluß auf die Deckschichtenausprägung vor allem im Bereich mittlerer bis großer Krümmung (Wölbungsradien < 2000 m). Gestreckte Hangbereiche sind nur dann bei schwacher Krümmung für die Massenbilanz von Bedeutung, wenn sie sehr steil sind. Daher ist eine rechnerische Verknüpfung zwischen der Krümmung (Vertikal- und Querkrümmung) und der Neigung herzustellen.“

Hier wurden die Vertikalwölbung (PROF) und die „allgemeine“ Wölbung (CURF) (s.o.) herangezogen. Wesentliche Schritte der Umsetzung waren:

Negative Werte der Vertikalwölbung wurden zu positiven transformiert und umgekehrt, um gleiche Vorzeichen bei gleicher Wölbungstendenz (negativ ~ konkav) zu erhalten (PROX). Für den nächsten Schritt der Transformation mußten Absolutwerte der Profilwölbung als auch der allgemeinen Wölbung (PROABS, CURABS) als temporäres *grid* erstellt werden. Es resultierten dann PROTRA und CURTRA:

$$\text{PROTRA} = (\text{PROABS} * \text{PROX}) / ((\text{PROX} * \text{PROX}) + 0.6)$$

$$\text{CURTRA} = (\text{CURABS} * \text{CURF}) / ((\text{CURF} * \text{CURF}) + 0.6)$$

Der Zweck der Transformation ist, den Bereich stärkerer Krümmung (~geringer Radius) zu strecken, also zu betonen und darin eine deutlichere Differenzierung zu erreichen. Die beiden Krümmungsinformationen werden zu einem Gesamtkrümmungsfaktor addiert: $\text{FK} = \text{PROTRA} + \text{CURTRA}$

Hier wird, anders als bei FRIEDRICH, die Vertikalwölbung zweimal einbezogen, denn sie ist auch eine Komponente der „allgemeinen“ Wölbung CURF.

Die ursprünglichen Neigungswerte (°) wurden mit einer Transferfunktion (FRIEDRICH S.134) modifiziert.

$$FN = SLODEG / (SLODEG + 15)$$

Dies dient dazu, erstens die Neigung auf ein Spektrum zu transformieren, das dem der Krümmung (0-1) entspricht. Zweitens wurde wie bei FRIEDRICH (S. 144) aus bodenkundlichen Gründen „... eine Funktion der Neigung bestimmt, die mit zunehmender Neigung abflacht.“ Schließlich ergibt sich der relative Massenbilanzindex:

$$MB = FK * (FN + 1)$$

Der Wert entspricht also bei Neigung nah 0° dem des Krümmungsfaktors. Um den Unterschied zur Variable rM (relative Massenbilanz, FRIEDRICH) anzuzeigen, wurde die Informationslage MB genannt.

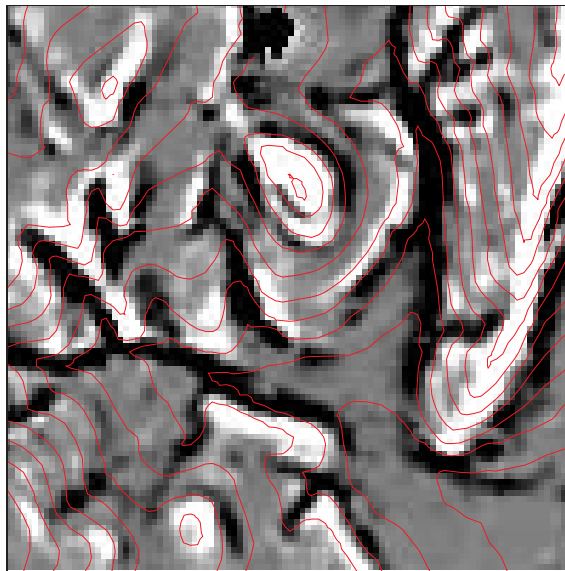


Abb. 14: Massenbilanzindex.
Hell ~ negative Bilanz. Ausschnitt 3580000 5743000 3581000 5744000, Rev. Gittelde. Maßstab 1:13.333.
10 m Äquidistanz. (Schwarz am Nordrand DHM-Fehldaten).

5.2.3.4 Einzugsgebietsgröße

Die Programme zur Berechnung der Größe tributärer Flächen, also der Einzugsgebietsgrößen, führen je nach Methode zu „stark abweichenden“ Ergebnissen (DIKAU & SCHMIDT 1999:235). Das GIS ARC/Info erlaubt keine Abflusstrennung innerhalb des Fließverfolgungsalgorithmus. D.h. eine Zelle „entwässert“ in nur eine der acht Nachbarzellen, nämlich in die, auf die die Neigungsrichtung, abhängig von der größten Neigung, weist (Funktion *flowdirection*). Demnach gibt es nur acht Fließrichtungen, in 45°-Schritten unterschieden. Dies korrespondiert nicht unbedingt gut mit den stärker variierenden *aspect*-Werten (ASP) des DHM. Es ergeben sich oftmals parallele Abflüßbahnen auf Hängen, die nicht unbedingt der Realität entsprechen. Einzugsgebiete einer Zelle können nach der zugrunde liegenden D8-Methode (*deterministic eight-node*) für die Berechnung der Fließrichtung innerhalb einer Zelle verfälschte Ergebnisse aufweisen. Trotzdem wird diese Methode häufig verwendet (GESSLER et al. 1995:423, MOORE et al. 1993:446, GALLANT & WILSON 1996:717f). In einem Beispiel bei WISE (1998:159) wird klar, dass eine Veränderung der modellierten Fließrichtung in Zellen um 45° zu deutlich unterschiedlichen Summen führen kann und zwar 6 gegenüber 27 Zellen. Solche Differenzen sind zwar bei der Betrachtung von Zellen mit relativ wenigen tributären Zellen recht augenfällig, dürften sich aber in einem DHM „abwärts“

betrachtet bald wieder aufheben, denn früher oder später vereinigen sich die Abflußbahnen bei generell konkaver Form ohnehin.

Das mit der Standardfunktion produzierte *grid* der Einzugsgebietsgröße (EZG) wurde modifiziert:

1 Kappung auf 50.000 Zellen (~500 ha)

2 Ausmitteln der Zellenwerte mit Funktion *focalmean* (3x3-Matrix, Glättung)

3 Stauchung der (hohen) Werte mit Wurzelfunktion oder Logarithmusfunktion (*sqrt*, *log10*)

Punkt 1 wurde zuerst allgemeingültig ausgeführt. Damit wird angenommen und impliziert, dass EZG-Werte größer als 500 ha keine von der standörtlichen Bedeutung dieses Wertes abweichende Bedeutung haben; die bodenkundliche Relevanz steigt ab einer bestimmten EZG-Größe nicht mehr an. Außerdem wird dadurch eine erste Stauchung des Wertespektrums vorgenommen. Punkt 2 wurde ein-, zwei- oder dreimal ausgeführt (Variablenkürzel F). Bei mehrmaliger Ausführung bedeutet dies eine Betonung des zentralen Zellenwertes (Z0) bzw. der nah an Z0 liegenden Zellenwerte. In einem nachfolgenden Schritt werden Zellenwerte benutzt, die bereits durch die Nachbarzellenwerte vorheriger Schritte beeinflusst worden waren. Durch die Ausmittlung „wandern“ hohe Zellenwerte in ihre Nachbarschaft ein. Punkt 3 diente der überproportionalen Stauchung hoher Werte, der Eingangswert 10.000 beispielsweise wird per Wurzelfunktion (Kürzel w) auf 100, per Logarithmus (Kürzel L) zur Basis 10 auf 4 reduziert. Abb. 15 zeigt die Verteilung. Dreimaliges Ausmitteln und Logarithmieren führt zur Benennung EZGFFFL.

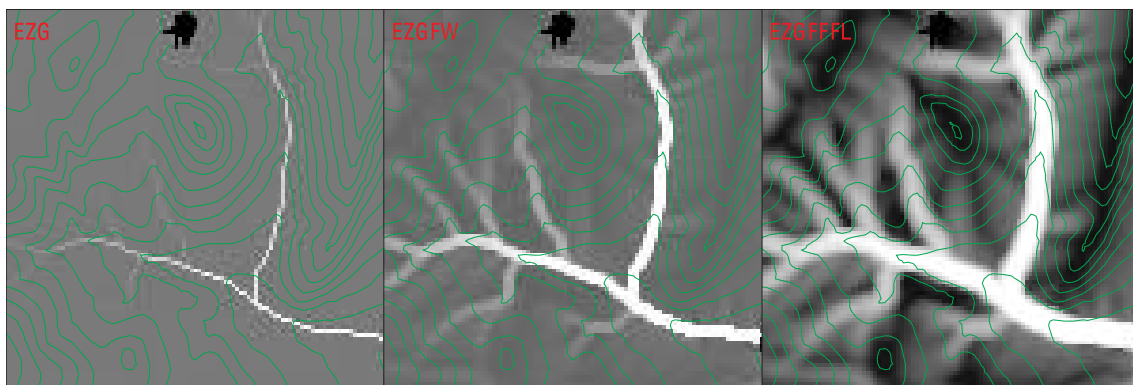


Abb. 15: Informationslagen der Einzugsgebietsgröße (EZG, EZGFw, EZGFFFL).
Hell ~ hohe Werte (1). Ausschnitt 3580000 5743000 3581000 5744000, Rev. Gittelde. Maßstab 1:20.000.
10 m Äquidistanz. (Schwarz am Nordrand DHM-Fehldaten).

5.2.3.5 Relative Exponiertheit der näheren Umgebung

Anhöhen und Tiefenlinien in unmittelbarer Nachbarschaft einer Zelle Z0 nehmen direkten Einfluß auf Licht- und Luftbewegungsverhältnisse. Höhendifferenzen in der näheren Umgebung können das bodengenetische Geschehen (Umlagerungen) beschreiben helfen und sollten daher bei dem hier zu definierenden Merkmal EXPNAH Eingang finden.

Eine später darzustellende Methode der „Exponiertheitsberechnung“ berücksichtigt auch Höhen, die nicht in direkter Nachbarschaft einer betrachteten Zelle, sondern -eventuell getrennt durch näherliegende Höhen- in einigen Kilometern Entfernung vorkommen können (5.2.4.1). Das ist durchaus angestrebt, um großräumig wirkende Einflußfaktoren zu integrieren. Hier wurden vier Informationslagen produziert, die die Gruppe „Relative Exponiertheit der näheren Umgebung“ bilden:

EXPNAH, EXPSUMNAH, EXPMAXMINPRO und HOEDIF.

Der Weg für EXPNAH war: Mit Hilfe der *focalmax*-Funktion, Option *irregular*, wurden zuerst die Werte unregelmäßig geformter Zenumgebungen abgefragt. Dazu ist die Umgebung in sog. *kernel-files* durch die Plazierung der Zeigerwerte 0 und 1 definiert. Wird in einem *kernel-file* nur eine Position markiert (1 statt 0), so wird der an dem Ort vorhandene Wert zu dem gesuchten Wert.

Acht Abfragen der Haupthimmelsrichtungen wurden bezüglich der Höhenwerte geprüft. Bei einer Zellengröße von 10x10 m wurden iterativ die Werte der nächsten zehn in Richtung N, S, W bzw. O liegenden Nachbarn ausgelesen, was eine betrachtete Gesamtdistanz von 100 m ausmacht. Im Fall der Richtungen NW, NO, SW und SO waren nur sieben Schritte á 14,14 m (Diagonale des Quadrats) nötig.

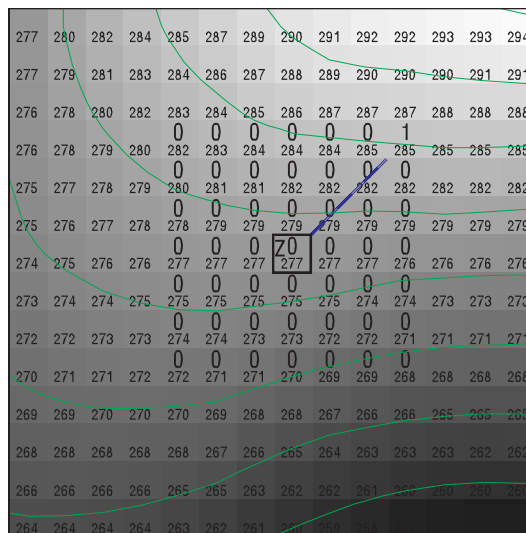


Abb. 16: Definition einer *kernel*-Umgebung.
Abfragerichtung Nordost, Distanz drei Zellen von Z0. 5 m Äquidistanz. Zellenhöhenwerte m. Maßstab 1:2.000.

Darauf folgte eine Differenzbildung. In der vorgestellten Situation ergibt sich beispielsweise eine Differenz von 8 m. Bei positiven und negativen Differenzen folgen unterschiedliche Vergleiche:

- Differenz (m) = Umgebungswert (m) - Wert Z0 (m).
- Wenn der aktuelle Differenzwert kleiner / größer als der jeweils vorherige ist und der vorherige größer / kleiner als 0 ist, wird der vorherige Vergleichswert festgeschrieben.

Im Verlauf des richtungsweisen Auslesens werden zuerst auftretende lokale Höhenmaxima und -minima erkannt und die Höhendifferenz zu diesen Zellen für den nächsten Schritt konserviert. Wenn kein lokales Maximum oder Minimum vorkommt, wird der letzte Höhendifferenzwert benutzt. Es resultiert also die maximale positive oder minimale negative nächstliegende Höhendifferenz zu einer Nachbarzelle bestimmter Richtung. Schließlich ergibt eine Ausmittelung der Ergebnisse der acht Richtungen den Exponiertheitswert der näheren Umgebung, der bei -30 m bzw 30 m gekappt wurde, um extreme Werte, die z.B. in der Nähe von Steinbrüchen vorkommen, zu eliminieren. Das resultierende Wertespektrum für den Bereich des Berglandes in graphischer und für einen Ausschnitt in kartographischer Form zeigt Abb. 17. Sehr viele Zellen tragen einen Wert nah 0, also geringe Höhendifferenzen in der 100 m-Umgebung, wenige Zellen mit Werte von 30 oder -30 m. Tendenziell besteht ein Zusammenhang zwischen EXPNAH und EXP8 (5.2.4.1, Mitte der Abbildung). Aber wie im Vergleich von Variablen, die zur Modellierung herangezogen werden sollen erwünscht, tritt deutliche Streuung auf.

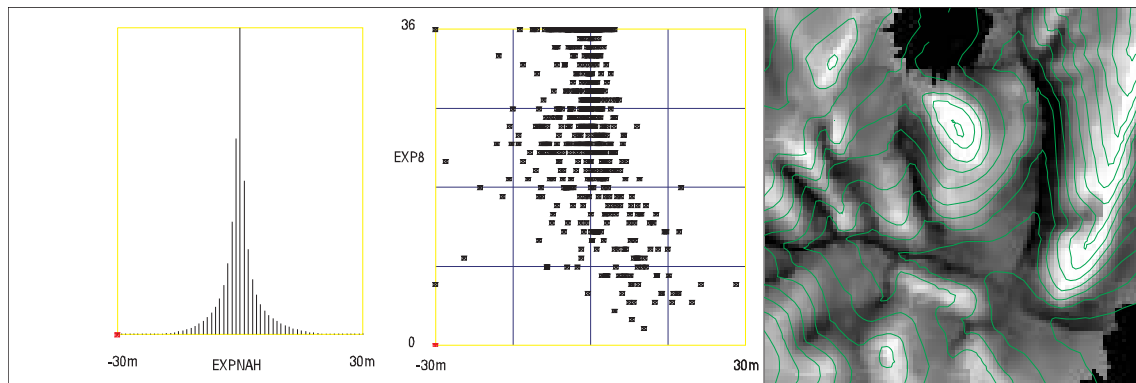


Abb. 17: Exponiertheit der näheren Umgebung (EXPNAH) und Vergleich zur Exponiertheit (EXP8). 20 m Äquidistanz. Ausschnitt 3580000 5743000 3581000 5744000, Rev. Gittelde. Maßstab 1:20.000. (Schwarz im Norden und Südosten Fehlzeiten).

In der Abbildung sind helle Bereiche hoch exponiert, d.h. sie tragen negative Werte von z.B. -20 m. Im Mittel der acht Betrachtungsrichtungen liegt in diesem Beispiel Z0 deutlich höher als die nächsten lokalen Maxima oder Minima.

EXPNAH wurde außerdem für bestimmte Anwendungen bei dem Wert 0 gekappt, d.h., die positiven Werte wurden auf 0 zurückgesetzt und damit EXPNAHMIN erzeugt (7.1.4.2.4.4).

Fragen nach abweichenden Verfahren zu einer „Relativen Exponiertheit der näheren Umgebung“ sind:

- a Sind Extrema oder mittlere Höhenverhältnisse in der Umgebung von Z0 relevant ?
- b Ist auch die horizontale Entfernung zu den Höhendifferenzextrema relevant ?

EXPNAH und die noch vorzustellenden Informationslagen differieren bezüglich dieser Kriterien:

EXPSUMNAH: Innerhalb der acht Betrachtungsrichtungen werden alle bis zum lokalen Minimum oder Maximum auftretenden Höhendifferenzen zwischen Z0 und der aktuellen Zelle addiert. Bei der Betrachtungsrichtung Nord können dies bis zu zehn Einzeldifferenzwerte sein. Liegen alle Zellen höher als Z0, so werden zehn positive Differenzwerte addiert. Zwischenergebnisse wurden bei -400 bzw. 400 m gekappt. Der Unterschied zu EXPNAH ist, dass dort nur Minimum bzw. Maximum zugrunde liegen.

EXPMAXMINPRO: Aus einer aktuellen Höhendifferenz zwischen Z0 und Zelle in Betrachtungsrichtung und der aktuellen horizontalen Distanz wird die Neigung als Verhältniswert zwischen den beiden Zellen berechnet. Bsp.: $(300 \text{ m} - 290 \text{ m}) / 80 \text{ m} = 0.125$. Anschließend wird der minimale oder maximale (negative, positive) Wert der Betrachtungsrichtung herausgesucht. Die acht Extrema werden ausgemittelt. Hierbei handelt es sich im Gegensatz zu den vorherigen IL insofern um ein anderes Merkmal, als dass auch die Entfernung zu einem lokalen Minimum bzw. Maximum berücksichtigt wird und nicht nur die absolute Höhendifferenz. Dies bedeutet beispielsweise, dass sich, wenn das Gelände von einer Kuppe betrachtet bereits in der Nähe deutlich tiefer liegt, ein markanterer Wert ergibt als wenn die gleiche Höhendifferenz in weiterer Entfernung auftritt.

HOEDIF: Ein Kreis mit einem Radius von acht Zellen als Kompromiß zwischen der o.g. Zellenanzahl sieben bzw. zehn bei Betrachtung in acht Himmelsrichtungen dient zur Ausmittlung der Höhenwerte in der Umgebung von Z0. Es wird die reine Höhendifferenz zwischen dem Mittelwert und Z0 berechnet. Bei dieser einfachsten Herangehensweise ist der wichtigste Unterschied: Auch solche Werte gehen mit in die

Berechnung ein, die auf die betrachtete Zelle nicht unbedingt Einfluß haben, weil sie aus Sicht von Z0 „hinter“ einer Anhöhe oder Tiefenlinie (lokale Maxima/Minima) liegen.

Da bei allen vier IL im Prinzip Höhendifferenzen einer Umgebung von 100 m herangezogen werden, ähneln sich die Wertespektren. Allerdings bestehen hier keine vollständig linearen Zusammenhänge; trägt man Werte graphisch gegeneinander auf, kommt die Unterschiedlichkeit der Variablen in Teilbereichen der Wertespektren zum Ausdruck. Dies ist im Sinn eines unterschiedlichen Informationsgehaltes erwünscht. Trotzdem ist anzunehmen, dass sich später Variablen bei der Selektion zur Modellbildung (6.2.3) austauschen lassen bzw. dass sich bei ähnlichen Modellierungszielen die Variablen wechselnd als geeignet herausstellen.

5.2.3.6 Hanglängen: Euklidische Distanzen

Um Distanzen zu berechnen sind Anfangs- und Endkoordinaten einer Strecke notwendig. Im Kontext dieser Arbeit handelt es sich um die Lage einer beliebigen Zelle und die Lage einer bestimmten Zelle, die ein Kriterium erfüllt bzw. ein Charakteristikum aufweist. Im Rahmen der Distanzbestimmung zur Reliefgliederung muss zuerst das Charakteristische definiert werden, es liegt nicht von vornherein fest: Hier soll es das obere bzw. untere Hangende sein. Als Hangobergrenze werden oft Wasserscheiden verwendet (FRIEDRICH 1996:79). Allerdings ist es schwierig derartige Zellen aus der Gesamtheit aller Zellen auszuwählen, da streng genommen sehr viele lokale Wasserscheiden existieren, die für eine bestimmte Fragestellung nicht allesamt von Bedeutung sind. FRIEDRICH bemängelt den Einsatz der Tiefenlinie als Untergrenze für den Betrachtungsfall Hang, da in der Nähe der Tiefenlinie andere bodengenetische Prozesse herrschen als auf dem Hang. Dies trifft zu, wirkt sich aber nicht negativ aus, wenn andere Variablen mit dazu beitragen, bestimmte Klassen, die „Tal“ und „Hang“ darstellen, zu beschreiben und solange das abgeleitete Reliefmerkmal nicht nur im Hangbereich, der erst fixiert werden soll (7.2), verwendet wird, sondern in der gesamten Fläche.

Entscheidend ist in der Tat die Definition des „Oben“ und „Unten“, also der Orte, zu denen die Distanz gemessen wird. Eine Tiefenlinie zu definieren ist einfacher als das „Oben“ festzulegen, denn die Tiefenlinie bzw. der Talbereich hat einen deutlich linienhafteren Charakter. Nach einigen Tests wurde als Schwellenwert 1800 auf die Informationslage EZG (5.2.3.4) angewandt, d.h. „Tiefenlinie“ sind alle Zellen, die mindestens ein 18 ha großes Einzugsgebiet aufweisen (vgl. Abb. 15). Der Wert wurde nicht frei festgelegt, sondern in Orientierung an kartierte Standorteinheiten, nämlich an „Täler“ im weitesten Sinn, also an BFG-Klasse 1 - 8 in der Gesamtdatenbasis (Tab. 5, 2.3.2.2). Dies ist eine bewußte Steuerung vor dem Hintergrund der Modellierung der Standortklassen; dem ist aber nichts zu entgegen, weil durchaus diese Standortklassen modelliert werden sollen.

Bei HELVEY et al. (1972), in einem Gebiet in North Carolina, werden zur Festlegung der Position am Hang *ridge-to-channel transects* herangezogen. Die Rücken, die zur Bestimmung des „Oben“ dienen, sind „*secondary or tertiary ridges*“ (S. 954), also nicht unbedingt die umfassenden, übergeordneten Rücken und Käme. Das „Unten“ wird dort durch Gewässer (*streams*) definiert. THATCHER (2002) verweist auf Subjektivität bei der Formulierung des „Oben“.

Die Festlegung des Talanfangs bzw. eines *stream channels* mit Hilfe der Einzugsgebietsgröße wird z.B. bei BURROUGH & MCDONNELL (1998:197) vorgestellt. Dort wird auch vorgeschlagen, in erster Annäherung *ridges* durch Anwendung eines sehr kleinen Schwellenwerts (1) zu definieren. Dieser Versuch führte bei Vorarbeiten zur vorliegenden Arbeit nicht zu befriedigenden Ergebnissen, weil zu viele, verstreute Einzelzellen ohne oder mit nur sehr kleinem EZG im DHM des Berglandes resultieren.

Der ähnliche Sachverhalt einer Begrenzung „flächenhafter Reliefeinheiten“ wird bei KÖTHER & LEHMEIER (1993:14) genannt. Dort werden u.a. Kulminations- und Tiefenlinien beschrieben, die „um ihrer selbst willen“ oder als „Abgrenzungskriterien“ berechnet werden können. Diese Linien werden definiert auf der Basis von „Neigungsstärke, Exposition und Vertikalwölbung“.

Die Hangobergrenze, das „Oben“ wurde hier in mehreren Schritten formuliert:

- 1 Invertierung des Höhenmodells (DHMINV, invers). Talbereiche tragen hohe absolute Höhenwerte (m), für Kuppen u. ähnliches gilt Umgekehrtes.
- 2 Berechnung des *grids* EZGINV (invers).
- 3 Ausmitteln der Zellenwerte mit Funktion *focalmean*, EZGINVF
- 4 Regelhafte Schwellenwertanwendung:
Horizontalwölbung (PLAF) < -0.3 und EZGINVF > 450 oder
Exponiertheit (EXP2) > 35 oder
Exponiertheit (EXP210) > 179, dann „Oben“ (vgl. 5.2.4.1)
- 5 Gruppierung von auch über die Ecken benachbarten Zellen zu Regionen (*regiongroup*), Bestimmung der Flächengröße der Regionen (*zonalarea*) und Anwendung eines Filters: Größe > 100 m². Damit werden alle einzelnen Zellen, die nicht direkt mit anderen Zellen benachbart sind, ausgeschlossen.

Sowohl das begrenzende „Oben“ als auch das „Unten“ werden nach diesem Verfahren zurückhaltend ausgewiesen, d.h. sie sind nach visueller Einschätzung in Zusammenschau mit dem Höhenlinienverlauf selten. Das „Oben“ muss nicht punktuell und kuppenähnlich sein, sondern ist vielfach tendenziell linienhaft oder auch flächiger angeordnet (Abb. 18).

Die *grid*-Funktion *euclidean* bestimmte dann die absoluten Distanzen zwischen einer beliebigen Zelle und der Tiefenlinie bzw. der Hangobergrenze. Beide Distanzen wurden, wenn sie größer als 800 m waren, auf 800 m zurückgesetzt, um Datenfehler, die sich im Randbereich des DHM ergeben könnten und extreme Distanzen, von denen keine modifizierende Wirkung zu erwarten ist, zu eliminieren.

Somit wurden drei Informationslagen hergeleitet:

- Euklidische Distanz zu Kuppen (EUCKUP), Bsp. 70 m
- Euklidische Distanz zu Tiefenlinien (EUCTIE), Bsp. 130 m
- Relative Lage (am Hang) nach vorgenannten IL (EUCHANG), Bsp. 35 %:
$$\text{EUCHANG} = \text{EUCTIE} / (\text{EUCKUP} + \text{EUCTIE}) * 100, \text{ z.B. } 70 \text{ m} / (70 \text{ m} + 130 \text{ m}) * 100 = 35 (\%)$$

Obwohl die Bezeichnung wegen der ganzflächigen Beschreibung des Reliefs weniger geeignet ist wird für die dritte IL das Kürzel EUCHANG, also Lage am Hang nach euklidischen Distanzen, verwendet. Dies ist eine einfache Umschreibung, die der Ausgangsdatenbezeichnung (EUCKUP, EUCTIE) ähnelt. Um EUCHANG zu berechnen, werden zwei Distanzwerte verwendet, die nicht unbedingt, wenn man die Distanzen als Linien abbilden würde, eine Gerade ergeben. Dies ist im Sinn der Verwendung der IL weder richtig noch falsch, weil in dieser Situation der IL noch kein konkreter Zweck zugeordnet ist. Die

Nutzbarkeit dieser IL muss sich erst herausstellen. Die Wurzelfunktion *sqrt* diene zur Stauchung der hohen Distanzwerte (EUCKUPW, EUCTIEW). Ähnliche Merkmale stellen HUTTO et al. (1999:387) vor, so die *slope position* oder die Distanz vom Hang zur nächsten Entwässerungslinie.

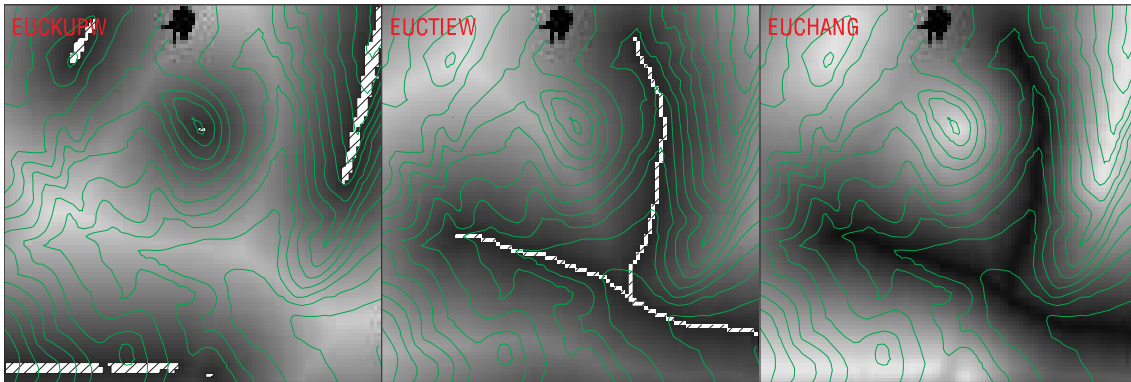


Abb. 18: Euklidische Distanzen zur Kuppe und Tiefenlinie und relative Lage am Hang. (EUCKUPW, EUCTIEW, EUCHANG). Weiß und schraffiert ~ Kuppe bzw. Tiefenlinie. Hell ~ hohe Distanzwerte. Ausschnitt 3580000 5743000 3581000 5744000, Rev. Gittelde. Maßstab 1:20.000. 10 m Äquidistanz. (Schwarz am Nordrand DHM-Fehlzeiten).

5.2.3.7 Hanglängen: Pfaddistanzen

Kürzeste Pfadlänge:

Ähnlich wie bei den euklidischen Distanzen (5.2.3.6) werden bei den Pfaddistanzen bestimmte von Anwender zu definierende Zielzellen (Zonen) benötigt. Sie müssen bei der Funktion *pathdistance* als *source grid* eingegeben werden. Desweiteren gehören das eigentliche Höhenmodell (HOE) und das *aspect grid* (ASP) zur Eingabe. Optionale *grids*, die den „Widerstand“ bzw. die „Kosten“ des „Fließens“ beschreiben, sind in dieser Situation nicht angebracht. Für wenige Zellen, für die hier wegen der Konstellation von *source grid* und Höhenwerten keine Berechnung einer kürzesten Distanz möglich war, wurden euklidische Distanzwerte (EUCKUPW) korrigierend eingesetzt; es entsteht PATLEN. Danach folgte ein Zurücksetzen auf maximal 800 m und eine Ausmittlung der Zellenwerte (PATLENF). Wie auch bei EUCKUPW und EUCTIEW ist schließlich das Wertespektrum mit der Wurzelfunktion gestaucht worden (PATLENFW). Ein ähnlicher Wert - die kleinste Oberflächenentfernung zur Wasserscheide - wird auch bei BARSCH & DIKAU (1989:17) gezeigt.

Das Kürzel PAT... steht für *path* und wurde bei IL vergeben, die mit *pathdistance* zusammenhängen.

Einschub: Längste Pfadlänge:

Mit Hilfe der Funktion *flowlength* wurde die längste Fließdistanz von einer Zelle bis zu einer Zelle ohne jeglichen Zufluß berechnet. Wie auch bei der Einzugsgebietsgröße (5.2.3.4) wird dabei zuerst ein *grid* der durch den stärksten Gradienten innerhalb einer 3x3-Zellenmatrix bestimmten Fließrichtung (*flowdirection*) benötigt. Technisch ist die Herleitung mit den genannten Funktionen einfach. Aus der Perspektive einer Zelle kann es vor allem bei großen EZGs sehr viele Zellen geben, die zwar am Rand ihres Einzugsgebiets liegen aber selbst keinen Zufluß aufweisen; insofern bedeutet die Bestimmung der längsten Distanz die Auswahl nur einer spezifischen Zelle bzw. Distanz von vielen und ist nicht repräsentativ für die Einflüsse, die auf Z0 wirken. Außerdem ergeben sich wegen des in 5.2.3.4 erläuterten Problems der Fließrichtungsberechnung oftmals auch kleine EZGs direkt benachbart zu großen EZGs. Beides zusammen ergibt sowohl in Hanggefällerrichtung als auch hangparallel ein unruhiges Bild. An einem Hang, der wenig gegliedert ist, liegen sehr unterschiedliche Werte direkt nebeneinander. Deshalb wurde diese IL verworfen. GALLANT & WILSON (1996:715) und MOORE et al. (1991:12) zeigen allerdings vergleichbare Größen in bodenkundlichen und hydrologischen Arbeiten.

5.2.3.8 Hanghöhe und Hanggefälle im Pfadverlauf

Hanghöhe im kürzesten Pfadverlauf:

Schwieriger als die horizontale Distanzbestimmung ist die der vertikalen Distanz im GIS. Zuerst wurde die Höhendifferenz jeder Zelle zur maximalen Höhe der 3x3-Zellenumgebung bestimmt. Dieses Höhendifferenzgrid fungierte sodann als „Kostengrid“ bei der Pfadbestimmung mit *pathdistance*. Es resultiert eine akkumulierte Zellendistanz-Höhendifferenz. Da im Fließpfad Zellen diagonal und rechtwinkelig gequert werden, setzt sich die horizontale Distanz aus den Einzelwerten 10 m und 14,14 m zusammen. Da die Anteile nicht bekannt sind, wurde als Mittelwert 12 m angenommen. Dividiert man den akkumulierten Wert durch 12 ergeben sich angenähert die Höhendifferenzen (PATHOE, in m) von Z0 zu der Zelle zu der die kürzeste Pfaddistanz besteht. Fehldatenbereiche wurden durch Nachbarhöhenwerte ausgefüllt und Höhendistanzen von mehr als 300 m auf diesen Wert zurückgesetzt.

Hanggefälle im kürzesten Pfadverlauf:

Aus vertikaler und horizontaler Distanz zu der Zielzelle läßt sich ein mittleres Gefälle im Pfadverlauf errechnen. Es wird als Verhältniswert, als Quotient, ausgedrückt. Ein Beispiel ist $30 \text{ m} / 100 \text{ m} = 0.3$. Im Bereich von Fehldaten wurden auf Verhältniswerte transformierte Werte der Informationslage SLO eingesetzt (5.2.3.1). Schließlich wurden extrem hohe Werte auf 1.5 begrenzt.

$$\text{PATHOELENQUO} = \text{PATHOE} / \text{PATLEN}$$

Bei der Betrachtung der erläuterten Informationslagen ist es wichtig zu wissen, wie in diesem Kontext der „Pfad“, die Strecke bzw. Distanz, auf dem Geländemodell hergeleitet wird. Es ist nicht so, dass hier der Pfad zugrunde liegt, den Wasser (modellhaft) dem stärksten Gefälle folgend nach unten zur Zelle Z0 nehmen würde. Die Perspektive ist anders: Von der Zelle Z0 wird bergauf in Abhängigkeit von Höhe und *aspect* der kürzeste Weg zur Zelle, die „Oben“ ist (*source grid*) gesucht und gemessen. Die von unten angesteuerte Zelle des *source grid* muss nicht in dem Einzugsgebiet liegen, dessen Größe in Abschnitt 5.2.3.4 hergeleitet wurde. Dieses war durch maximale Gradienten zwischen Nachbarzellen bestimmt, der Pfad hier kann auch geringeren Gradienten folgen.

Die Verwendung des Höhendifferenzmaximums zwischen Z0 und 3x3-Zellenumgebung als *Kostengrid* kann in diesem Sinn somit auch verfälschend sein. Auch die Verwendung des Zellenstreckenwertes 12 m kann bei fehlender Durchmischung diagonalen und rechtwinkliger Strecken zu Unstimmigkeiten führen. Liegen Senken zwischen Z0 und dem „Oben“ der ganzen Umgebung, wird kein Pfad gefunden. Deshalb gab es in Bereichen, in denen das „Oben“ selten vorkommt, auch Lücken in der aktuell berechneten IL. Diese Lücken mußten durch ähnliche IL wie z.B. euklidische Distanzen gefüllt werden. Wegen dieser Probleme bzw. Einstellungen sind die errechneten Werte zwar im Prinzip akzeptabel, aber nicht in allen Bereichen konsistent. Dies drückt sich in einem unruhigen Bild aus.

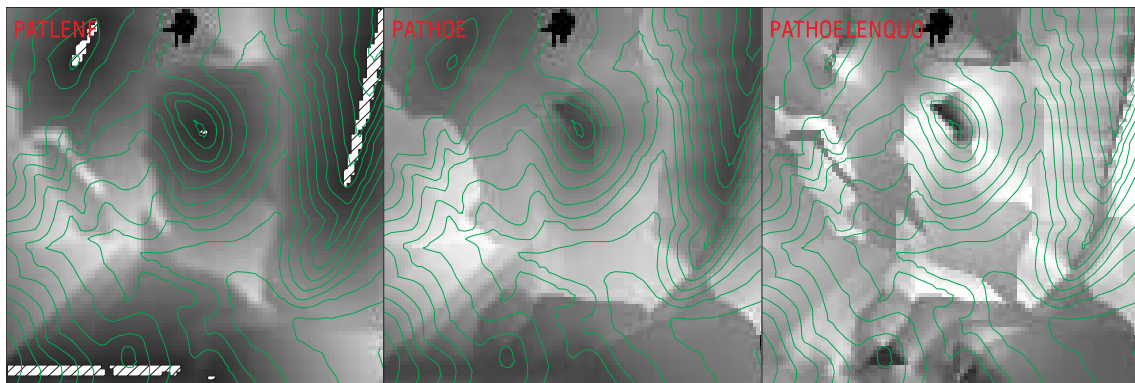


Abb. 19: Kürzeste Pfadlänge, Höhendifferenz und Gefälle im Pfadverlauf.
(PATLENF, PATHOE, PATHOELENOUO). Weiß und schraffiert~ Kuppe. Hell ~ hohe Werte.
Ausschnitt 3580000 5743000 3581000 5744000, Rev. Gitteldé. Maßstab 1:20.000. 10 m Äquidistanz.
(Schwarz am Nordrand DHM-Fehldaten).

5.2.3.9 Höhendifferenz zur Tiefenlinie

Für Grundwasserstände und Feuchteverhältnisse im Hangbereich kann auch eine Höhendifferenz von Z0 zur Tiefenlinie von Bedeutung sein. Es ist leicht einzusehen, dass eine Zelle, die nur knapp oberhalb einer Tiefenlinienzelle mit der Höhe h liegt, mutmaßlich eher Grundwasser führt als eine Zelle weit oberhalb des GRW-Niveaus. Um eine adäquate IL herzuleiten und eine Konsistenz im Bestand der IL zu gewährleisten wurde die selbe „Tiefenlinie“ verwendet, die auch bei der Herleitung der Euklidischen Hanglängen zum Einsatz kam (5.2.3.6).

Da die Identifikation der Bezugzelle für Z0 innerhalb der Tiefenlinie über die Funktion *euclidean* mit einem *allocate-grid* und Differenzbildung (ESRI 1991) ausgeführt wurde, kann unpassenderweise eine Zelle herangezogen werden, die keinen nahen hydrologischen Bezug zu Z0 hat, weil eine Wasserscheide beide trennt. Deshalb wurde schließlich die Höhendifferenz bei 30 m gekappt. Dies schließt den Mangel indirekt fast total aus, denn eine bis 30 m höher gelegene Zelle Z0 befindet sich fast immer auf direkt an den dazugehörigen Tiefenlinienabschnitt anschließenden Hang. Die IL heißt HOEDIFTIE.

5.2.3.10 Form - Lage - Indizes

Eine der komplexeren IL ist ein Form-Lage-Index. Er basiert, ähnlich wie EXP8 (5.2.4.1), technisch gesehen auf der Funktion *hillshade*. Sie stellt zwei hier sinnvolle Optionen bereit: *shade* und *all*.

Beide Optionen berücksichtigen den Auftreffwinkel zwischen einem gedachten Strahl und der Geländezelle und drücken das Ergebnis in einem Graustufen-Indexwert von 0-255 aus. Sie differieren aber dahingehend, dass *shade* die Abschattung der Zelle Z0 durch umgebende Höhen nicht berücksichtigt, *all* zieht diesen Faktor in Betracht (vgl. 5.2.4.3). Der Weg ist:

- 1a „Beleuchtung“ des Geländes zwölf 30°-azimuth-Schritten mit Option *shade*.
- 1b Wiederholung mit den Höhenwinkeln (*altitude*) 1°, 4°, 7°, 10° und 13°.
- 1c Addition der Zellenwerte der sechzig Beleuchtungssituationen (= V1).
- 2 Wiederholung Punkt 1 mit Option *all* (= V2).
- 3 Berechnung der relativen Differenz beider Durchgänge: $FLI = (V1 - V2) / V1 * 100$

Es handelt sich nicht um Beleuchtung im Sinn von Einstrahlung, sondern um das Abprüfen des Auftreffens eines „virtuellen“ Strahls. Wenn Z0 oft „beschattet“ wird (*all*) und / oder im Fall der Nichtberücksichtigung der Beschattung (*shade*) hohe Einstrahlungswerte resultieren, ist die relative Differenz groß. Anders ausgedrückt: Je steiler und je konvexer und je stärker durch Gegenhänge

beschattet eine Zelle ist, desto größere Werte resultieren. Die IL heisst Form-Lage-Index, weil damit also die Formung des Hanges, auf dem Z0 liegt, und auch die Lage in Relation zur Umgebung (Gegenhang) berücksichtigt wird.

Das Relief ist bezüglich der Ausdehnung seiner morphographischen Einheiten wie Tal oder Rücken nicht spiegelbildlich ausgeprägt. Im Talverlauf gibt es beispielsweise keine trichterförmigen Senken, die gespiegelt realen Kuppen ähnlich wären. Täler haben eine andere Breite und Form als die sie umgebenden Höhenzüge. Somit ergibt sich bei Verwendung eines inversen DHM (oben ↔ unten) ein durchaus unterschiedliches Bild gegenüber der Informationslage FLI. Die Berechnungsschritte mit inversem DHM ergeben FLI-I. Das Wertespektrum ist 0-100, die Einheit ist %. Aber die IL kann besser als Index aufgefasst werden, da es sich um Berechnungen handelt, die schwer interpretierbar sind.

Um das obere Wertespektrum zu stauchen, wurden die zwei IL mit dem Logarithmus (10^x) transformiert, so dass vier IL erstellt wurden: FLI, FLI-I, FLI-L, FLI-IL. Drei davon zeigt die nächste Abbildung.

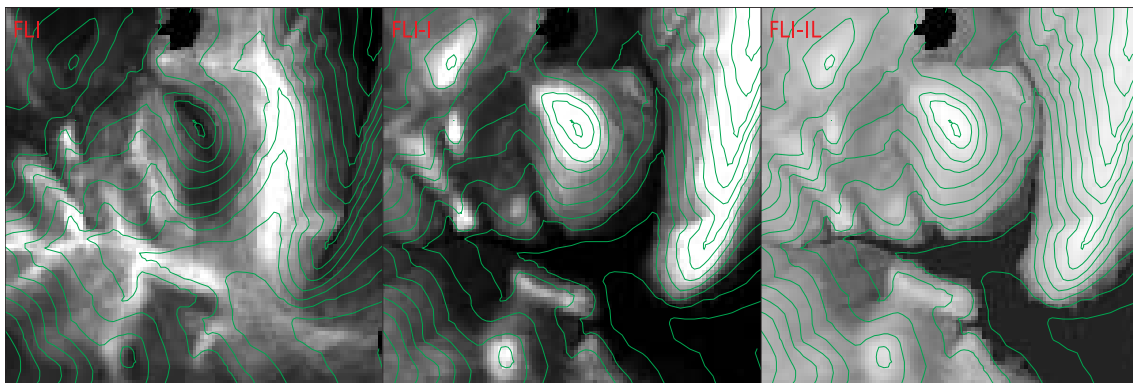


Abb. 20: Form-Lage-Indizes bei normalem und inversem DHM (FLI, FLI-I, FLI-IL).
Hell ~ hohe Werte. Ausschnitt 3580000 5743000 3581000 5744000, Rev. Gittelde. Maßstab 1:20.000.
10 m Äquidistanz. (Vgl. Karte 1c). (Schwarz am Nordrand DHM-Fehldaten).

5.2.3.11 Distanz zu Flächen starker und schwacher Neigung

Neigungsverhältnisse sowohl am betrachteten Ort als auch in der Nähe eines Ortes können auf die Wasser- und Materialverlagerung im Gelände einwirken. Eine sehr schwach geneigte Fläche wird dann von den umgebenden Bereichen starker Neigung wenig beeinflusst sein, wenn diese Verhältnisse in weiterer Entfernung vorliegen. Um die Entfernung zu besonders hohen oder niedrigen Neigungswerten zu charakterisieren wurden zwei IL produziert:

SLODIS17: Distanz zu Zellen mit mehr als 17 % Neigung

SLODIS9: Distanz zu Zellen mit weniger als 9 % Neigung (SLO, 5.2.3.1)

Nach AKS (1980:14) gelten Flächen mit weniger als 9 % Neigung als höchstens „schwach geneigt“, solche mit mehr als 17 % Neigung als mindestens „stark geneigt“. Dieses war die Referenz.

GIS-technisch wurde wiederum mit der Funktion *eucdistance* gearbeitet; zuvor mußten Bereiche mit den geforderten Neigungswerten als „Zonen“ definiert werden, zu denen die Distanz (m) zu berechnen war. Naturgemäß können in einem nicht extrem kleinräumig zergliederten Relief große Ergebniswerte auftreten. Sie wurden für bestimmte Anwendungen bei 400 m gekappt (SLODIS17-4, 7.1.4.2.4).

Folgende Abbildung zeigt in einem relativ stark zertalten Bereich kaum hohe Werte von SLODIS17, weil nahezu alle Zellen, bis auf wenige im Südosten, nah an Bereichen mit hoher Neigung liegen oder selbst stark geneigt sind. Im Gegensatz dazu gibt es größere Zellenbereiche mit hohen Distanzwerten zu Bereichen schwacher Neigung.

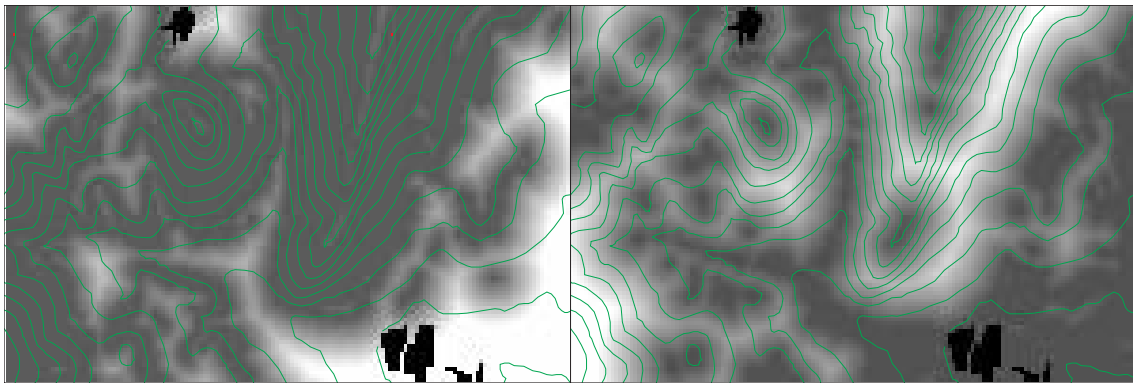


Abb. 21: Distanz zu Flächen mit starker und schwacher Neigung (SLODIS17, SLODIS9).
Hell ~ hohe Werte. Ausschnitt 3580000 5743000 3581500 5744000, Rev. Gittelde. Maßstab 1:20.000.
10 m Äquidistanz. (Schwarz am Nordrand DHM-Fehlzeiten).

5.2.3.12 Compound topographic index und topographic wetness index

Topographische bzw. geomorphologische Merkmale können nach MOORE et al. (1993:445) in primäre und sekundäre Merkmale aufgeteilt werden. Die sekundären sind demnach aus Kombinationen der primären Merkmale (*compound*, z.B. aus Neigung und Vertikalwölbung) zusammengesetzt. In Literatur und in *email*-Diskussionsforen werden viele solcher Merkmale vorgestellt; sie unterscheiden sich wenig. Zwei davon sind der CTI, *compound topographic index* und der TWI, *topographic wetness index*.

DIKAU & SCHMIDT (1999:231) schreiben: „Eine weitere Parameterklasse, die vor allem in der Prozeßforschung Anwendung findet ..., umfaßt die kombinierten Parameter, wie z.B. den Topographieindex $\ln(a / \tan \beta)$.“

„The compound topographic index (CTI), often referred to as the steady-state wetness index, is a quantification of catenary landscape position.“ GESSLER et al. (1995:425). Sie berechnen den Index auf die gleiche Weise; dabei ist a die Einzugsgebietsgröße (EZG), dividiert durch die Fließlänge einer Zelle. β ist der Neigungswinkel der Zelle Z_0 .

Bei BARLING et al. (1994:1032) wird anschaulich gezeigt, dass der CTI allerdings trotz ungleicher Form der Hänge im Einzugsgebiet von Z_0 bei gleichen Wert der Neigung und der EZG-Größe identische Werte annimmt. Da das EZG bei der CTI-Berechnung eine Rolle spielt, wirkt sich auch die Art der EZG-Berechnung (5.2.3.4) auf den Term a aus. Dieses Problem wird bei DIKAU & SCHMIDT erläutert.

Zuweilen wird statt der Neigung der Zelle Z_0 die auch mittlere Neigung im EZG herangezogen, was ebenso sinnvoll erscheint. Im Vergleich der Quellen, die sich aufeinander beziehen und durch den Datenaustausch per *email* und *homepage* ergänzt werden, ist die Verwendung der Terme a und β innerhalb des CTI und/oder des TWI nicht eindeutig. An dieser Stelle werden nur die Versionen vorgestellt, die schließlich verwendet wurden.

Das GIS errechnet die Neigung (*slope*) wahlweise in Grad oder Prozent. Es wurde davon ausgegangen, dass β in Grad (*degrees*) ausgedrückt wird. Grad- und Prozentangabe werden wie folgt umgerechnet:
 $\tan(45^\circ) = 1.000 = 100,0 \% / 100$

In der o.g. Formel wird $\tan(\beta)$ benutzt. Dies ist also gleichbedeutend mit Neigung in % dividiert durch 100. Deshalb kann auch die Informationslage SLO (%), dividiert durch 100, verwendet werden (Abschnitt 5.2.3.1). Die mittlere Neigung im EZG läßt sich mit der *flowaccumulation*-Funktion unter Einsatz eines Gewichtungsgrids berechnen. Dies ist hier SLO.

Der Fließweg in der Zelle Z0 ist je nach Durchquerung 10 m oder 14,14 m lang. Als Mittelwert wurde vereinfachend 12 m angenommen; die Zellengröße, mit der die Anzahl multipliziert werden muß, ist 100 m². War das EZG 0 Zellen groß, so wurde es auf den Wert 1 gesetzt. Bei großem EZG und geringer Neigung im EZG wird der Ergebniswert groß:

$$CTI = \text{LN}(((\text{EZG} * 100) / 12) / (\text{MITTLERE NEIGUNG IM EZG} / 100))$$

Der *topographic wetness index* TWI wurde in der Vergangenheit benutzt, um die räumliche Verteilung der oberflächennahen Wassersättigung zu charakterisieren und scheint bei der Kartierung von Waldböden geeignet zu sein (MOORE et al. 1993:446). Hier wird er im wesentlichen mit einem Programm von STEIN (1994), was im Mai 1998 in der ARC/Info-Diskussionsliste „ESRI-L“ bereitgestellt wurde, berechnet. Es unterscheidet vom hier berechneten CTI in zweierlei Hinsicht:

1 Die Neigung der Zelle Z0 selbst wird genutzt, nicht die des EZG.

2 Der Fließweg innerhalb Z0 wird konkret über Neigung und Neigungsrichtung berechnet.

Punkt 1 wiegt dabei schwerer. Insgesamt sind die Differenzen im Ansatz beider IL zwar ersichtlich, aber die Ergebnisse differieren nicht besonders stark. Beide IL, CTI und TWI, wurden schließlich je einmal ausgemittelt, um eine weniger sprunghafte Werteverteilung im Raum zu erhalten (CTIF, TWIF). Für manche Anwendungen wurde das Wertespektrum des CTIF klassiert (CTIF6, CTIF8) (7.1.4.2.4.2).

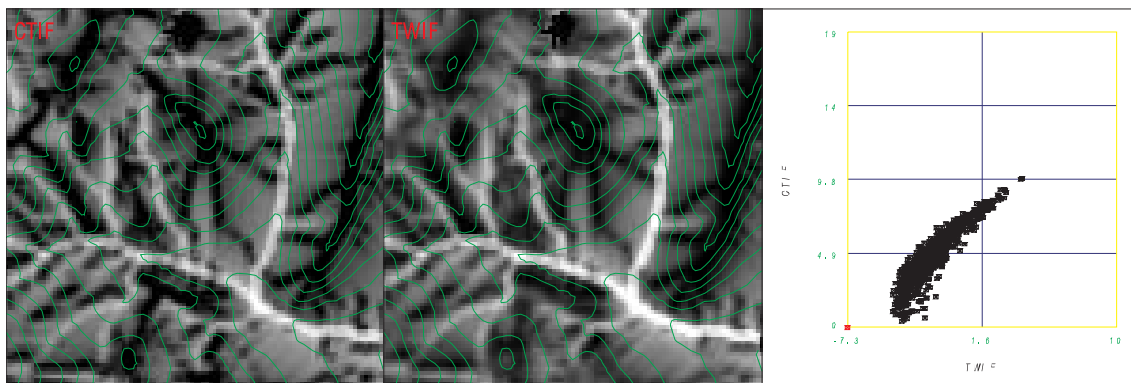


Abb. 22: Compound topographic index und topographic wetness index (CTIF, TWIF).
Hell ~ hohe Werte. Ausschnitt 3580000 5743000 3581000 5744000,
Rev. Gittelde. Maßstab 1:20.000. 10 m Äquidistanz. (Schwarz am Nordrand DHM-Fehldaten).

5.2.4 Geländeklimatische Informationslagen: Intention und Umsetzung

5.2.4.1 Relative Exponiertheit der weiteren Umgebung

Die Einordnung einer DHM-Zelle nach der umgebenden Geländeform kann vielerlei Kriterien integrieren. Man kann sie in die Gruppe der kleinräumig durch die Konstellation der Nachbarzellen (z.B. Wölbung) und weiträumig bestimmten teilen (z.B. Windverhältnisse). Diese Gesichtspunkte finden auch bei der Abgrenzung bzw. Festlegung von „Rücken“ bei der Standortkartierung Anwendung, wie der Schätzrahmen (GÖS 1997) in der Grenzbereichsdefinition vermittelt:

„ ... stark exponierte Standorte, bei schmalen Rücken mit seitlichem Wasserabfluß zu den Hängen; starke Windeinwirkung, starker Verdunstungsanstoß, ... “. So zeigte sich während einer Geländebegehung mit Kartierern im Jahr 1997 im FOA Lautenthal der Bedarf nach einem Reliefmerkmal, das die weiträumige Umgebung bewertet. Die Schwierigkeit, die Höhenverhältnisse in Kombination mit den Entfernungsverhältnissen richtig einzuschätzen, kam zur Sprache. Derartige Relationen aber wirken in ihrer Gesamtheit über die klimatischen und hydrologischen Einflußgrößen Wind, Einstrahlung und

Kaltluftabfluß auf die Feuchteverhältnisse und somit auf die Untergliederung in Frischestufen der Rücken und Kuppen, Hänge und Täler.

In der Literatur finden sich mehrere Ansätze der Berechnung ähnlicher Merkmale: MCNAB (1993:1100) produzierte einen *landform index*, der das Mittel aus acht Neigungswerten, von einem Punkt (Z0) zum Horizont gemessen, ist. Dieser Index ist mit der Hangposition und drei subjektiv abgegrenzten *landform classes*, Rücken, Hang und Muldental, assoziiert. Er fand einen Zusammenhang zu der Wuchsleistung (*site index*) einer Pappelart in Untersuchungsgebieten in North Carolina. Bei DOZIER & FREW (1990:968) wird ein *sky view factor* beschrieben. Er entspricht dem von einem Ort aus sichtbaren Himmelsausschnitt. Die Neigung und Neigungsrichtung der Zelle Z0 und die Winkel, die sich aus einer gedachten Linie bis zum Horizont ergeben, werden dazu herangezogen. Sechzehn Sichtbarkeits-berechnungen werden als ausreichend angesehen.

In diesem Kontext wurden folgende Kriterien für ein Exponiertheitsmerkmal definiert:

- Es soll die Begriffsspanne von „frei“, „offen“, „nicht abgeschottet“ und „relativ weit oben“ bis zu dem Gegenteil wie „eingeschlossen“, „abgeschottet“, „relativ weit unten“ abgedeckt sein.
- Die IL soll im Gelände nur intuitiv bestimmbare Extrema und deren Zwischenwerte ausdrücken.
- Die IL soll einen Raum starker Reliefbewegung mit sich kontinuierlich ändernden Werten auskleiden.
- Absolute Höhen sollen unberücksichtigt bleiben.

Schritte der Umsetzung:

- 1 Das DHM wird mit einem fiktiven Lichtstrahl (Funktion *hillshade*, Option *shadow*) aus 36 Richtungen ($0^\circ, 10^\circ, 20^\circ \dots 350^\circ$ *azimuth* und 8° *altitude*) „beleuchtet“.
- 2 Zellen erhalten je nach Konstellation der Umgebung, also je nach Höhen- und Distanzverhältnissen, den Wert 0 oder 1 (beleuchtet nein / ja).
- 3 Nach Addition der Einzelergebnisse der 36 „Beleuchtungssituationen“ ergibt sich minimal 0 und maximal 36 als Endwert (EXP8).

Als stark reliefiertes erstes Testgebiet wurde das FOA Seesen im Harz gewählt. Bei einem mittleren Neigungswert von 13.8° und den gegebenen Reliefverhältnissen sind wenige gering exponierte Zellen mit den Werten 0, 1 oder 2, wie angestrebt, vorhanden. Dahingehend wurde der *altitude*-Wert 8° in Orientierung an den mittleren Neigungswert iterativ festgelegt. Eine bestimmte absolute Geländehöhe erzwingt nicht eine bestimmte Exponiertheit.

Bei dieser einfachen Methode wirkt vor allem die „Beschattung“ durch die in Richtung der „Lichtquelle“ liegenden Anhöhen. Bei einer Höhendifferenz von der Zelle Z0 (300 m) zu einem Hindernis (350 m) von 50 m und einer Distanz von 333 m müßte der Lichtstrahl einen *altitude*-Wert von 8.54° aufweisen, um für „Beleuchtung“ zu sorgen, was bei der Anwendung von stattdessen 8° in dieser Situation nicht der Fall ist. Es resultiert somit der Einzelwert 0. Je mehr solcher Situationen ohne „Beleuchtung“ auftreten, um so weniger „exponiert“ ist eine Zelle.

Ein Pluspunkt dieser IL ist die Erkennbarkeit auch von Mulden an einem großräumig über einige hundert Meter nahezu gestreckten Hang, da ein simulierter Strahlengang, der in Streichrichtung des Hanges verläuft, Mulden nicht erreichen kann (*self-shadowing*, DOZIER & FREW 1990:964). Somit resultiert dort ein in der Summe geringerer Exponiertheitswert. Ähnliches gilt für eine Hangstufung, also wechselnde

Vertikalwölbung. Zellen, die in einem konkaven Hangbereich mit geringem Wölbungsradius liegen, zeigen geringere Exponiertheitswerte als die Umgebung.

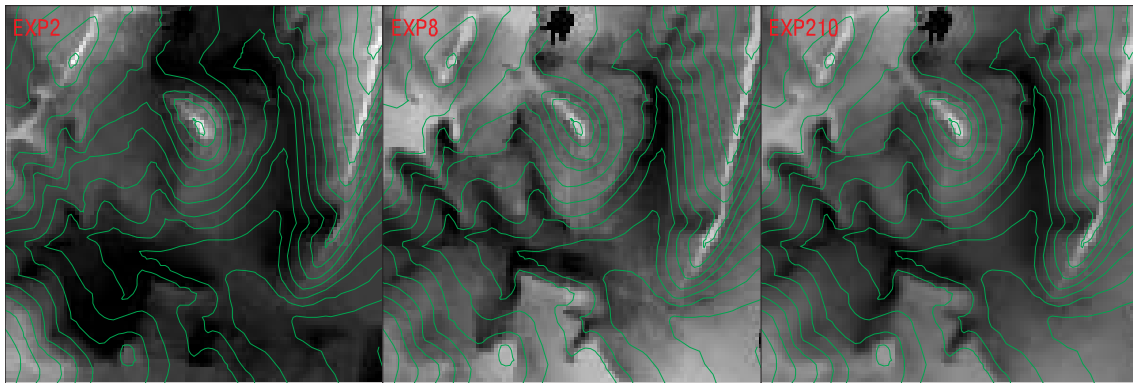


Abb. 23: Exponiertheit der weiteren Umgebung (EXP2, EXP8, EXP210).
Hell ~ hohe Werte. Ausschnitt 3580000 5743000 3581000 5744000, Rev. Gittelde. Maßstab 1:20.000.
10 m Äquidistanz. (Schwarz am Nordrand DHM-Fehldaten).

Wie die Methode, die auf einem festen Einstrahlungswinkel beruht, impliziert, ist das Spektrum auch von den Neigungsverhältnissen bzw. der Wölbung in der Nähe der höchstgelegenen Zellen abhängig. Schließen sich steil geneigte Zellen in einer Entfernung von z.B. nur 3 Zellen an Z0 an, so tritt stark vertikal-konvexe Wölbung auf und infolgedessen auch ein Wechsel von höchster Exponiertheit (36) zu deutlich geringeren Werten (etwa 30).

Ein Manko dieser Informationslage ist so allerdings, dass der hangabwärts betrachtete Wechsel von extremen Werten (36) zu deutlich geringeren Werten (30) relativ unvermittelt eintritt. Dies hängt mit dem festen fiktiven Einstrahlungswinkel zusammen. Ist er nur um einen minimalen Betrag kleiner als die Neigungslinie zwischen der Zelle auf einer Erhebung und „beschattender“ Kuppe derselben Erhebung, so erhält die Zelle den Wert 0, d.h. sie ist „nicht exponiert“. Bei einem langen Höhenzug ergeben sich so in der obersten Hangpartie klar unter dem Maximum liegende Werte. Sie sind aber durchaus höher als der Exponiertheitsmittelwert (18).

Für das Bergland stellt sich wegen des vom Harz abweichenden Reliefs (u.a. Plateaulagen mit anschließenden steilen, aber weniger langen Hängen) die Frage der Anwendbarkeit des o.g. Winkels von 8°. Um die weniger tiefen Täler mit geringen Exponiertheitswerten (0, 1, 2, 3 ...) belegen zu können und um nur den ganz flachen Plateaus die extrem hohen Werte zuzuordnen (35, 36), wurde der Winkel 2° eingesetzt (EXP2).

Eine weitere Abwandlung ist, zuerst mit den Winkeln 2°, 4°, 6°, 8° und 10° separate *grids* zu erzeugen und die Werte dieser *grids* schließlich zu addieren (EXP210). Dies führt zu einer insgesamt harmonischeren Werteverteilung im Raum ohne den Verlust von augenfälligen Extrema. Die drei verwandten IL EXP2, EXP8 und EXP210 zeigt Abb. 23.

Sie müssten nicht unbedingt hier in den Abschnitt der geländeklimatischen IL eingeordnet werden, sondern könnten auch bei den geomorphologischen IL stehen, da, wie auch bei den Form-Lage-Indizes, klimatische Größen nicht direkt berücksichtigt werden.

Aufbauend auf der IL „Exponiertheit der weiteren Umgebung“ (EXP8) leitete MUES (2000:36f) weitere IL ab, die er zur Modellierung der Niederschlagsverhältnisse in Niedersachsen nutzte.

5.2.4.2 Windexponiertheit

Forstliche Standortmodellierung könnte Bestandesgefährdung durch Wind berücksichtigen, aber derartige Ereignisse unterliegen der aktuellen Bodenvernässung und Windstärke. Solche witterungsbedingten Faktoren sind hier nicht modellierbar. Durchschnittliche Vegetationszeitverhältnisse sollen abgebildet werden. Dabei werden raumbezogene Gesichtspunkte wie sie bei FLEMMING (1990), VAN EIMERN (1984), ROSENBERG (1974), MALBERG (1994), SCHERHAG & LAUER (1982), WEISCHET (1991) und GEIGER ((et. al.) 1961, 1995) dargestellt werden, integriert.

„ ... Der größte Einfluß des Waldes auf den Wasserhaushalt des Bodens in seiner Nachbarschaft beruht letztendlich auf seiner windschwächenden Wirkung, ...“ (VAN EIMERN 1984:175), womit auf die Wechselwirkung Wald - Freiland hingewiesen wird. STORM (1996:367) versucht die „Luvlage“ bei der Analyse der Beziehung Standort-Vegetation für Nadelwälder im Schwarzwald zu nutzen.

Die Berechnung der Windexponiertheit wurde mit 20x20 m-Zellen durchgeführt; das ist gerechtfertigt, da Windverhältnisse durch übergeordnete Reliefverhältnisse, weniger durch Details, beeinflusst sind.

A Windschutz durch vorgelagerte Höhen

Die Schutzfunktion vorgelagerter Höhen wird u.a. bei VAN EIMERN (S. 155, 213) dargestellt. Anhand eines Tals zeigt er die Veränderung der Windstärke, die „im Schutz der Berge ... auf die Hälfte reduziert“ wird. Es wird dort klar, dass in ein Modell die Faktoren „Entfernung zum Hindernis“ und „Höhendifferenz zum Hindernis“ integriert werden müssen.

Umsetzung: Die Geländehöhe in 3, 6, 9 ... bis 18 Zellen Entfernung (6 Schritte) bei den Windrichtungen NW, NO, SW und SO und 3, 6, 9 ... bis 24 Zellen (8 Schritte) bei den Windrichtungen N, S, W und O wurde aus dem DHM abgeleitet und daraufhin die Differenz zwischen dieser Höhe und Z_0 bestimmt. Damit ist eine Distanz von etwa 500 m berücksichtigt. Weiter ergab die Division Höhendifferenz / Entfernung eine „Neigung“ zwischen aktuell betrachteter Zelle und Z_0 . Die maximale Neigung gegenüber den 6 bzw. 8 betrachteten Zellen in Windrichtung und die dazugehörige Zelle (Z_{max}) wurden selektiert. Je nach Entfernung zu Z_{max} , die maximale „Neigung“ zwischen einer Zelle und Z_0 darstellt, wurde ein linearer Gewichtungsfaktor von 1 bis 0,35 auf die Neigung angewendet. Es wurde dabei postuliert, dass mit steigender Entfernung zum Hindernis (Z_{max}) die Schutzwirkung abnimmt:

- kurze Distanz (3 Zellen Entfernung) zu Z_{max} ~ Faktor 1,00 ~ volle Schutzwirkung
- lange Distanz (18 bzw. 24 Zellen Entfernung) zu Z_{max} ~ Faktor 0,35 ~ geringe Schutzwirkung

Bei der Gewichtung ergab sich ein Zwischenwert. Je größer er ist, desto größer ist die Schutzwirkung. Er wurde bei 0,5 (~50 % Verminderung) gekappt, denn eine stärkere Verminderung als auf 50 % der „Windstärke“ wird nicht angenommen. Für die Verwendung dieses Bausteins mußte eine Transformation auf ein anderes Wertespektrum erfolgen. Je nachdem, wie die Einzelkomponenten miteinander gekoppelt werden sollen (Gewichtung per Division oder Multiplikation) und je nachdem ob sie so berechnet sind, dass sie entweder eine Verminderung oder eine Steigerung der aktuellen „Windstärke“ bedeuten, ist eine Transformation notwendig. Generell sollte je Windmodellkomponente mit Indexwerten von 1 bis x gearbeitet werden. 1 bedeutet jeweils die geringste Windstärke bzw. den geringsten Schutz. Hier wurde schließlich auf 1 bis 4 transformiert: Kein Windschutz = 1, maximaler Schutz = 4. Große „Neigung“ und große Nähe zum Hindernis ergeben hohe Schutzwirkung (dunkel in Abb. 25, A).

B Windstärkenveränderung bei Wald - Freiland - Konstellation

Zwei Aspekte müssen bei der Herleitung dieser Einflußgröße berücksichtigt werden: Erstens die Größe einer vorgelagerten Freifläche und zweitens die Distanz einer Waldzelle zum Waldrand.

Bei V. LÜPKE (1992:11) wird auf die zunehmende Windgeschwindigkeit bei zunehmender Größe von Kahlschlagflächen verwiesen. Derartige Erscheinungen sind, was die Flächenkonstellation angeht, mit der hier zu bewertenden Wald - Freiland - Lage zu vergleichen. „Zusammen mit der stärkeren Einstrahlung bewirkt dies eine Senkung der Luftfeuchtigkeit und eine Steigerung des Transpirationsanstoßes, ...“. Umgekehrt betrachtet heißt das, dass im Bestand höhere Feuchtigkeit und geringere Verdunstung herrscht. Nach ROSENBERG (1974:242) hört die Windschutzwirkung im Lee eines Gehölzstreifens nach einer Distanz von 10-15 Baumhöhen bei dichten Streifen und 20-25 Baumhöhen bei lockeren Streifen auf. Der maximal „windmildernde Einfluß“ bei einem 20 m hohen Bestand sei 500 m (Faktor 25) meinen SCHERHAG & LAUER (1982:164). D.h., ein mindestens 500 m lange Freilandstrecke bietet eine ausreichende Distanz, volle Windstärke auf einen Waldrand wirken zu lassen. Ist die Distanz geringer, so wäre die Stärke am Waldrand gemindert. VAN EIMERN (1984:173) nennt den maximalen Faktor 30. Unter der Annahme einer Bestandeshöhe von 20 m und einem Faktor von nur 15, mit dem die Baumhöhe zu multiplizieren ist, ergibt sich eine Schutzwirkung auf einer Strecke von immerhin 300 m. Um den Schutzeffekt durch benachbarte Waldstücke nicht überzubewerten wurde der maximale Einflußbereich auf 200 m festgesetzt. Ist eine vorgelagerte Freifläche kürzer, so erhält der Waldrand einen geringeren Windstärkewert, der proportional zur Freilandstrecke gegen 1 läuft. Ist die Strecke 0 m, so gilt der gleiche Wert wie im Wald, nämlich 1. Ist die Freilandstrecke größer als 200 m, ist die auftreffende Windstärke 5. Begründung: VAN EIMERN (1984:172) nennt Windgeschwindigkeiten im Wald von höchstens 1 m/sec selbst bei Sturm, was auf die raue Oberfläche zurückzuführen ist. Nach FLEMMING (1990:80) nimmt die Geschwindigkeit vom Rand nach Innen von maximal 70 % auf minimal 15 % bei einer Strecke von etwa 12 Baumhöhen (etwa 240 m) ab (Abb. 24). Setzt man den Innenbereich auf 1, so ergibt sich für den Waldrand etwa der Wert 5.

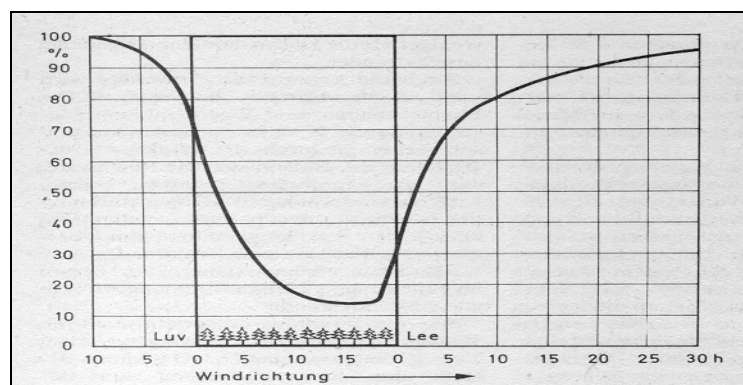


Abb. 24: Verminderung der Windgeschwindigkeit im Bestand.
Aus: FLEMMING 1990:80.

Die Information über die Verteilung von Wald und Freiland liegt nicht überall vor. Eine Zusammenstellung von Waldflächen aus Satellitendaten oder Forsteinrichtung konnte hier nicht geleistet werden. Deshalb wurden nur diejenigen Flächen, die standortkartiert sind, als bewaldet angenommen; andere Flächen gelten als Freiland. Damit wird an einem Berglandausschnitt der Sachverhalt verdeutlicht (Abb. 25, B). Im Süden finden sich kleinere Waldrandbereiche (X), die einen Windfaktor geringer als 5 tragen, weil jenseits der Freifläche Waldfläche vorgelagert ist. An anderen Rändern liegt die Abnahme

fließend im Bereich von 5 bis 1, da dem Waldrand ausreichend Freilandstrecke vorgelagert ist. Faktor B wird aufgrund des Basisdatenmangels letztendlich bei der Modellierung in Kapitel 7 nicht verwendet.

C Windverhältnisse auf einer der Windrichtung entgegen liegenden Hangposition (Hanglage)

Ein Faktor für gegen den Wind ausgerichtete Hänge wurde integriert, da ein Bestand auf einem steilen Hang ähnlichen Verhältnissen ausgesetzt ist wie ein Waldrand. Zuerst wurde indirekt der Winkel zwischen einem horizontal verlaufenden Windfeld und dem Hang mit Hilfe der Funktion *hillshade*, Option *shade*, berechnet. Das Wertespektrum ist 0-255 (vgl. 5.2.3.10). Ziel ist weiter, den extrem steilen Hängen einen Wert zuzuordnen, der einem exponierten Waldrand entspricht. Im Teilmodell unter Punkt B ist das der Wert 5, der Waldinnenraum trägt dagegen den Wert 1. Dies soll auch der Wert bei ebener Lage sein. Demnach schloß eine lineare Transformation der Zwischenwerte von Spektrum 0-255 auf 1-5 an. D.h., Bereiche mit geringen Werten knapp über 1 sind gegenüber der aktuellen Windrichtung kaum geneigt, mittelsteile Hänge tragen etwa den Wert 3, extrem steile Hänge nahezu den Wert 5 (Abb. 25, C).

Kombination der drei Faktoren A, B und C

Die Faktoren „Wald-Freiland-Lage“ (B) und „Hanglage“ (C) können addiert werden, so dass der Maximalwert 10 resultiert, wenn ein Waldrand an einer sehr steilen Wand ansetzt. Ein flacher Waldinnenbereich trägt dagegen den minimalen Wert 2. Punkt A „Windschutz durch vorgelagerte Höhen“ ist ein Maß für die Verringerung der Windstärke durch die Höhen- und Entfernungsdifferenz zu Hindernissen. Er rangiert zwischen 4 und 1, wobei 4 den maximalen Schutz definiert. Dieser Faktor ist als Divisor zu verwenden: $W1 = (B + C) / A$ (Zwischenergebnis je Richtung.)

Innerhalb (1) eines flachen (1), durch Höhen geschützten (4) Waldes ist der Wert 0,5, gegenteilig 10,0:

A	B	C	Zwischenwert W1 je Windrichtung
4	1	1	0,5
1	5	5	10,0

Jahreszeitliche Gewichtung jeder Richtung

Nach der Kombination der drei beschriebenen Faktoren stand schließlich noch aus, die realen Windverhältnisse in Form von Meßwerten als Gewichtungsfaktoren der acht Hauptwindrichtungen einzubeziehen, um annäherungsweise die Verhältnisse in der Vegetationszeit zu beschreiben. Obwohl Göttingen relativ weit im Süden des Berglandes liegt, kann angenommen werden dass die Windverhältnisse repräsentativ sind. Daten sind verfügbar (DWD 1980-1989). Unter Annahme einer ökologischen Gleichwertigkeit von Windstärke und Winddauer (Häufigkeit, Anzahl Beobachtungen) für den Verdunstungsanstoß wurden zuerst die beiden meteorologischen Einzelwerte eines Monats eines Jahres multipliziert: (Stärke 1.5 * Dauer 10) ~ (Stärke 1.0 * Dauer 15). Dieser Ansatz ist für durchschnittliche Witterungsbedingungen möglich. Denn z.B. die Förderung der Verdunstung am Boden und die darauf folgende Wasserabfuhr mit dem Wind hängt neben der Wassersättigung der Luftmasse vom Volumen der Luftmasse ab. Die fünf Produkte der Monate Mai – September wurden addiert und über zehn Jahre gemittelt. Es ergeben sich acht Richtungsmittelwerte. Um die Werte der Richtungen als Gewichtung verwenden zu können wurde die Richtung Ost, die den geringsten Summenwert aufweist, auf den Wert 1,0 normiert. Die häufige Süd-West-Lage erhält dagegen den normierten Wert 4,2. Diese Werte fungieren schließlich als Gewichtungsfaktoren (Tab. 11).

Tab. 11: Mittlere Windverhältnisse Station Göttingen (1980-1989) in Form eines normierten Gewichtungsfaktors für die Monate Mai – September (~Vegetationszeit). Basisdaten: Dt. Met. Jb., DWD, verändert.

Richtung	N	NO	O	SO	S	SW	W	NW
Faktor	1,7	1,3	1,0	1,8	1,9	4,2	2,0	3,6

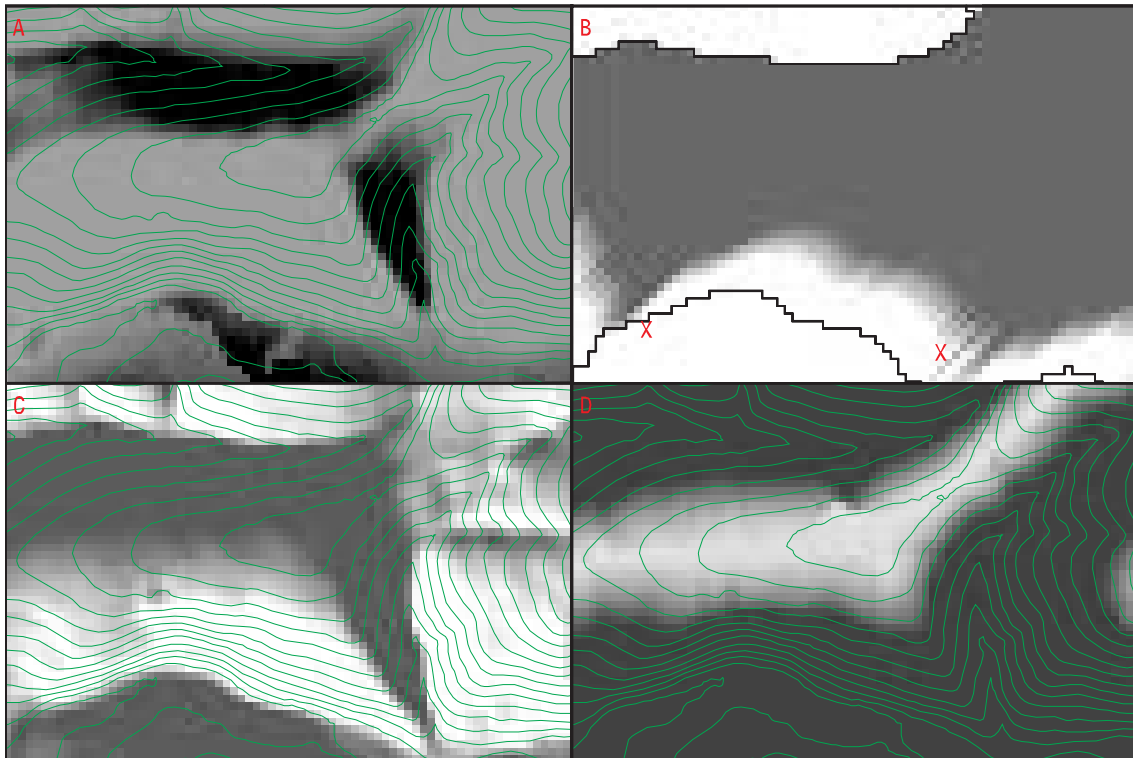


Abb. 25: Komponenten der Windexponiertheit.
 Bsp. SW-Wind. Darstellung in B nur für den Waldbereich. Hell ~ hohe Werte. 10 m Äquidistanz.
 Ausschnitt 3544000 5712200 3545500 5713200. Maßstab 1:20.000. A, B, C, D vgl. Text.

Wendet man die Gewichtungsfaktoren auf die Zwischenwerte ($W1$) der acht Windrichtungen an ($W2 = W1 * \text{Richtungsfaktor}$) und addiert die acht Werte ($W2_{\text{Summe}}$) so ergibt sich: Tendenziell westexponierte Waldrandlagen ohne Schutz durch Höhenzüge und mit deutlicher Neigung tragen höchste Werte. Sie sind hoch windexponiert, wohingegen die ostexponierten Flanken von Nord nach Süd verlaufenden Tälern relativ windgeschützt sind. Die Beeinflussung durch häufige Winde aus NW-SW kommt aber wegen der Überlagerung anderer Faktoren nicht übermäßig zum Ausdruck.

D Kuppeneffekt

Schließlich wurde ein Faktor für Kuppenlage integriert. Er betrifft Zellen, die weniger als 30 m unterhalb der nächsten Kuppe oder dem nächsten Rücken liegen. Damit soll dem Rechnung getragen werden, dass die Luftbewegung „oben“ stärker ist als in tieferen Lagen. Der Faktor soll richtungsunabhängig sein, weil man davon ausgehen kann, dass in Kuppennähe auch auf der windabgewandten Seite Luftbewegung auftritt. Die Werte des Faktors rangieren von einer Kuppe abwärts betrachtet linear von 2 bis 1 (Abb. 25, D). Der Kuppeneffekt D, als Multiplikator verwendet, spielt eine ergänzende Rolle, da die „Hanglage“ und „Windschutz durch vorgelagerte Höhen“ ähnliches bereits abbilden. $WINDEXP = W2_{\text{Summe}} * D$.

Höchste Windexponiertheit ($WINDEXP$) findet sich demnach an einem westlich ausgerichteten, hoch gelegenen Waldrand, geringste im Nord-Süd verlaufenden Tal im Wald. Die IL „Exponiertheit der weiteren Umgebung“ (EXP8, 5.2.4.1) weist ähnliche Werteverteilung im Raum auf. Sie unterscheidet sich aber u.a. durch die fehlende Berücksichtigung einer Richtungskomponente und durch die Betrachtung einer unbegrenzten Umgebung, während hier klar begrenzte Umgebungen berücksichtigt werden.

5.2.4.3 Einstrahlung

Der Eintrag der Sonnenenergie in einen Geländeausschnitt ist wegen seiner Wirkung auf die Temperatur und die Verdunstung und infolgedessen auf die Feuchtigkeitsverhältnisse auf und im Boden letztlich für das pflanzenverfügbare Wasser von Bedeutung. Es wurden Informationslagen erzeugt, die mehrere Einflußgrößen berücksichtigen. Die hier beschriebenen IL sind zum Teil anhand von meteorologischen Daten (MUES 2000) auf ihre Eignung als Variablen in Regressionsmodellen getestet worden.

Die diffuse Himmelsstrahlung sollte wegen ihrer geringeren reliefbedingten Variation (OLSETH & SKARTVEIT 1997) unberücksichtigt bleiben.

Bei der Betrachtung der Einstrahlung der zeitliche Aspekt wichtig, bedenkt man z.B. die Luftmassenbewegung im Tagesverlauf, die maßgeblich von den Energieumsätzen an der Erdoberfläche abhängt oder die jahreszeitlich schwankenden Randbedingungen (Belaubung, Bewölkung). Zeitbezogene Betrachtungseinheiten sind das Gesamtjahr, die Vegetationszeit, der Wechsel Winter – Frühjahr (z.B. Monat März), der Gesamttag oder der photosynthetisch bedeutsame Tagesabschnitt mit Helligkeit.

Desweiteren ist von Belang, welches geländeklimatische Merkmal dargestellt werden soll bzw. welche meteorologische Meßgröße einen Standortfaktor abzubilden vermag: Tagesmitteltemperaturen, mittlere Tagesmaxima und –minima, nächtliche Mitteltemperaturen, Extrema sind denkbar. Diese können weiter nach Messungen im, am oder deutlich über dem Boden unterschieden werden.

Unter dem Gesichtspunkt, die forstlich wichtige Einstrahlung zu quantifizieren, sollten vegetationszeitbezogene, tagsüber zu messende, bodennahe Verhältnisse beschrieben werden. Sie korrespondieren wegen des Zusammenhangs zwischen Verdunstung und Temperatur mit den Feuchteverhältnissen und dem Wasserverbrauch.

Die erste Abstraktion realer Sonnenstände ist, die 12 Monate eines Jahres durch je einen Tag repräsentieren zu lassen. Hierzu wurde der 15. Tag eines Monats festgelegt. Zweitens wurde vorausgesetzt, dass es genügt, diesen 15. Tag in die Anzahl der Stunden von Sonnenaufgang bis Sonnenuntergang aufzuteilen. Ein Programm, das im Rahmen einer Arbeit im Institut für Forstliche Biometrie und Informatik im Jahr 1992 (SPORS 1993) verwendet und von WITTMANN (1992), Sternwarte Göttingen, erstellt wurde, kam zum Einsatz. Es berechnet für die 24 Stunden eines Tages bei gegebener geographischer Länge und Breite aus Höhenwinkel (*altitude*) und Richtungswinkel (*azimuth*) bestehende Sonnenstände. Als Bezugscoordinate wurde 51°24' Nord, 10°00' Ost gewählt. Wegen der global gesehen geringen Entfernung zwischen den nördlichsten und südlichsten Bereichen des Berglandes (Abb. 1) konnten die Werte dieser Coordinate verallgemeinernd für das Bergland herangezogen werden. In den Monaten Juni und Juli werden 17, dagegen im Dezember nur 8 Beleuchtungssituationen angesetzt. Das entspricht etwa der Tageslänge (h) in diesen Monaten. Mittägliche Sonnenhöchststände, die nahezu mit einem Richtungswinkel von 180° (~Süd) einhergehen, weisen Werte von etwa 16° im Winter und etwa 60° im Sommer auf. Die erste morgendliche Situation z.B. am 15. März ist durch den Höhenwinkel 6.5° und die Richtung 101.8° -also OSO- gekennzeichnet. Die insgesamt 149 Situationswerte konnten in der Funktion *hillshade* als Variablenwerte Azimuth und Höhenwinkel verwendet werden:

- (1) Monatssituation = *hillshade* (DHM, *azimuth*, *altitude*, Option *shadow* oder *all*)
- (2) Monatssumme = Monatssituation 1 + 2 + 3 + 4 ... + x
- (3) Jahressumme = Januarsumme + ... + ... + Dezembersumme

Wie in (1) gezeigt ermöglicht die Beleuchtungsfunktion mehrere Optionswerte für das Auftreffen eines gedachten Strahls auf eine Geländezelle und zwar *all*, *shade* und *shadow*.

All ergibt den Sinus des Winkels zwischen der Oberfläche von Z0 und Strahl, umgerechnet in die Graustufenwerte 0-255. Horizontüberhöhung (~Beschattung durch Gegenhang) ist berücksichtigt. Eine solche Berechnung setzt allerdings eine glatte Geländeoberfläche voraus, wie sie in WEISCHET (1991:33, Abb. 26) und FLEMMING (1990:16) im einfachen Modell als Einheitsfläche vorgestellt wird. Sie ist im vegetationsreichen Gelände nicht anzutreffen. Daher schließen sich später Modifikationen an. *Shade* agiert wie *all*, aber ohne Berücksichtigung der Horizontüberhöhung. Bei *shadow* ist das Wertespektrum 0 oder 1 je nach fehlendem oder vorhandenem Auftreffen des Strahls auf die Zelle Z0. Die Option agiert ohne Berücksichtigung des Einfallswinkels, aber mit Berücksichtigung der Horizontüberhöhung.

Daraus ergibt sich bei der Option *shadow* ein Wert von maximal 17 im Juni und maximal 8 im Dezember, wenn Z0 wegen ihrer offenen Lage im Gelände ganztägig direkte Einstrahlung aufweist.

Aus der Addition einzelner Situationswerte des März mit der Option *all* resultiert hingegen etwa ein Wert von etwa 1400. Mit der Option *shade* wurde hier nicht gearbeitet (vgl. 5.2.3.10), denn die Vernachlässigung der Horizontüberhöhung führt im stark reliefierten Gelände zu bedeutsamen Fehlern.

Streuungen der Werte bei gleicher Neigung und Neigungsrichtung sind durch die unterschiedliche Lage der Zellen in Relation zur Umgebung, also durch unterschiedliche Horizontüberhöhung, bedingt.

Modifikationen des ursprünglichen Einstrahlungswertes

Auf den bis hier berechneten Einstrahlungsindexwert wurden i.d.R. fünf modifizierende Faktoren bzw. Konzepte angewendet, um realitätsnähere Ergebnisse zu erzielen:

- a Extinktion
- b Morgendliche Feuchteverhältnisse
- c Tagesgang Bewölkung
- d Jahresgang Bewölkung
- e Ideeller Bestandesraum

a Berücksichtigung der Troposphärenmächtigkeit (Extinktion)

Betrachtet man eine glatte Fläche, so ist die Erwärmung, die sie durch Einstrahlung erfährt, nicht nur vom Einfallswinkel der Strahlen, sondern auch von der zu durchlaufenden Strecke in der Atmosphäre abhängig. Durch die Aerosole, die Luftfeuchtigkeit und die Gase in der Luft werden die Strahlen gestreut (Extinktion) und so z.T. am Erreichen der Oberfläche gehindert (WEISCHET 1991:68ff). Eine abends kurzzeitig beleuchtete Fläche kann also trotz großen Einfallswinkels wenig kurzweilige Energie erhalten und demzufolge kaum langwellige Wärmestrahlung abgeben. Deshalb kann sie kaum zur Lufterwärmung beitragen. In stark reliefierten Arealen ist es bedeutsam für den Wärmehaushalt, welche Intensität die Strahlung hat, die ein Hang empfängt. Die Strecke und somit die Energieabnahme ist wenig unterschiedlich, solange der Einfallswinkel auf eine Ebene dadurch recht groß ist, dass die Sonne hoch steht. Es zeigt sich aber, dass „... bei tiefstehender Sonne jede weitere Winkelabnahme zu einer progressiv steigenden Wegverlängerung und Extinktion führt“.

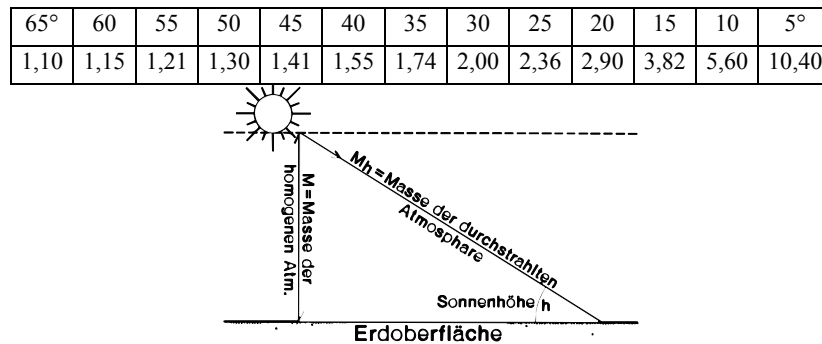


Abb. 26: Weglänge der Sonnenstrahlung durch die Atmosphäre in Abhängigkeit von der Sonnenhöhe.
Aus: WEISCHET (1991:69).

Das gleiche vermittelt MALBERG (1994:43) bei der Erläuterung des Extinktionsgesetzes: „... nimmt somit die Energie ... nach einer Exponentialfunktion ab, wobei die Schwächung um so größer wird, je niedriger die Sonnenhöhe h ist.“ Auf die „minimalen Intensitäten“ der Einstrahlung „infolge des flachen Sonneneinfalls“ im Frühjahr und Herbst bei gleichzeitig „relativ großen Sonnenscheindauerwerten“ verweist auch FLEMMING (1990:65).

Annahmen zur Modifikation waren in Anlehnung an WEISCHET (1991) und MALBERG (1994:19):

- Erdkrümmung und Atmosphärenkrümmung sind zu vernachlässigen.
- Lineare Wirksamkeit der Gase bzgl. der Extinktion im Streckenverlauf.
- Wirksame Troposphärenmächtigkeit in den Mittelbreiten 11 km.
- Sonnenhöchststand im Untersuchungsgebiet: $61,9^\circ$
- $\sin 61,9^\circ = 0,88$, daraus folgt: Strecke bei Sonnenhöchststand = $11 \text{ km} / 0,88 = 12,47 \text{ km} \sim \text{Faktor } 1$
- Bsp.: $\sin 10^\circ = 0,174$, Strecke = $11 \text{ km} / 0,174 = 63,2 \text{ km}$, $12,47 \text{ km} / 63,2 \text{ km} \sim \text{Faktor } 0,197$

Beträgt ein primärer Einstrahlungswert ohne Extinktionseinfluß z.B. 200, so ergibt sich mit Extinktionsabschwächung in der zuvor beschriebenen Beleuchtungssituation $200 * 0,197 = 39,4$.

Um den Endwert für den 15. Tag eines Monats und somit den repräsentativen Wert für diesen Monat zu erhalten erfolgt schließlich die Addition der Werte aller Situationen eines Tages.

Es war zu prüfen, ob Einstrahlungswerte der DHM-Zellen in ihrer vielfachen Konstellation gegenüber den Sonnenständen auf den Faktor Extinktion unterschiedlich reagieren, denn ohne Differenzen innerhalb der Fläche eines Untersuchungsgebietes ist eine Einbeziehung des Faktors Extinktion überflüssig. Unabhängig vom Faktor Extinktion finden sich niedrige Werte in Nordexposition und teilweise bei SW- und SO-exponierten Zellen. Die gegenteiligen hohen Werte finden sich bei südexponierten Zellen. Mittlere Einstrahlungswerte liegen demnach wie erwartet auf den West- und Osthängen. Bei Interpretation von Streudiagrammen und Differenzberechnungen z.B. anhand des März zeigt sich: Die prozentuale Abschwächung des ursprünglichen Wertes kann sehr stark sein. Viele west- und ostexponierte Zellen erfahren eine überproportionale Abschwächung des Energieeintrags durch den hohen Anteil von Beleuchtungssituationen, bei denen die Einstrahlung sehr lange Strecken der Atmosphäre durchdringen muß. Auffällig ist weiterhin die geringe Differenzierung bei südlich ausgerichteten Zellen, die sehr oft beleuchtet werden, wenn die Sonne hoch steht und daher die zu durchlaufende Strecke kurz ist. Große Streuung findet sich zwischen den nordexponierten Zellen, die je

nach Einschachtelung und Neigung deutlich unterschiedlichen Beleuchtungssituationen mit langen und kurzen Strecken unterliegen.

Geländezellen mit den Eigenschaften steil, west-/nordwest- oder ost/nordost-exponiert, oben liegend, nicht eingeschachtelt zeigen die stärkste Reaktion auf die Einbindung der Extinktion. Geringe Reaktion findet sich dagegen auf den Sohlen tiefer Täler mit N-S-Erstreckung, die nur bei sehr hohen mittäglichen Sonnenständen beleuchtet werden. Im Verlauf eines Märztages beleuchtet die Sonne die Talböden nur dann, wenn sie mittags relativ hoch steht. Zu der Zeit ist aber die Abschwächung wegen der kurzen zu durchlaufenden Strecke gering, also die Differenz zur ursprünglichen Berechnung ebenfalls gering. Offen liegende Verebnungen tragen mittlere Differenzwerte, was durch die fortlaufende Beleuchtung unter verschiedensten Winkeln und somit verschiedensten Extinktionsstärken begründet ist. Verallgemeinert kommt es so darauf an, welchen Einstrahlungsintensitäten die selten beleuchteten Zellen ausgesetzt sind.

b Berücksichtigung der morgendlichen Luft- und Bodenoberflächenfeuchte

Die nächtliche Abkühlung der Luft führt vor allem in den Sommermonaten zu Taubildung am Boden und erhöhter Luftfeuchte in Bodennähe. Die morgens einfallende Strahlung wird somit z.T. dafür aufgezehrt, das Wasser zu verdunsten; es handelt sich also um eine Überführung in latente Wärme (Wasserdampf), was die Umsetzung in fühlbare Wärme am Boden und somit in der Luft darüber zuerst verhindert und später im Verlauf des Morgens zumindest verringert.

Auch für andere, nicht ostexponierte Hänge müßte der gleiche Prozeß angenommen werden, weil auch hier irgendwann, wenn auch später, die Einstrahlung erstmals einsetzt. Dann ist der Faktor aber nicht von großer Bedeutung, da die allgemeine Erwärmung der Luftmasse auch an erst später direkt beleuchteten Orten zur Verdunstung der bodennahen Feuchte führt: Auch ein Westhang weist nachmittags keine Taufeuchte mehr auf. Dies erläutert ROSENBERG (1974:146) bezogen auf Bodentemperaturen einer Nord-Süd verlaufenden Furche: „*Generally, the west-facing slope was warmer than the opposite slope. This is because the east - facing slope is illuminated at a time of day when the soil temperature is lowest. Evaporation of dew at this time also tends to keep temperatures low.*“

Auch VAN EIMERN (1984:149) weist auf die Kombination beider Größen Tau und Lufttemperatur hin: „Die Kraft der Morgensonne wird zum Teil für die Verdunstung des nächtlichen Taus verwendet, andererseits erhalten die Hänge im Südwesten und Westen ihre größte Zustrahlung etwa zu der Tageszeit, in der die Tageshöchsttemperatur eintritt.“ Dieser ungleichen Ausgangsbasis bei Strahlungsbeginn sollte nach Einschätzung der Standortkartierung (AKS 1996:18) Rechnung getragen werden.

Demnach ist in das Einstrahlungsmodell ein nur morgens in den ersten beiden Beleuchtungssituationen und höchstens bis zu einem Sonnenstand von 20° Höhenwinkel (*altitude*) wirksamer Faktor eingebaut worden. Diese Einschränkung über die Zeit und den Winkel gewährleistet, dass der Faktor nicht weit in den Tag hineinreicht und eventuell hohe Sonnenstände zu früher Zeit, die durch die Staffelung in Stunden des Tages auftreten könnten, verhindert werden. Es wurde festgelegt:

- wenn $altitude < 2^\circ$, dann $altitude = 2^\circ$
- wenn $altitude < 20^\circ$ und Beleuchtungssituation < 3 , dann Faktor = $1 / altitude^\circ$

Bei einer so ermöglichten Höhenwinkelspanne von 2°-20° kommt eine Abschwächung des aktuellen Wertes früh morgens von 50 % und in der Mitte des Morgens von 5 % zum Tragen. Es handelt sich also um einen linear von dem Höhenwinkel abhängigen Faktor.

c Berücksichtigung der nachmittäglichen Bewölkung

In Niedersachsen treten Gewitter vornehmlich nachmittags auf. Gewittern geht eine Zunahme der Bewölkung voraus, aber Bewölkungszunahme mündet nicht zwangsläufig in Gewitter, nach denen sich die Bewölkung auflöst. Daraus läßt sich ableiten, Westhänge erhielten eine den astronomischen Verhältnissen gegenüber unterproportionale Einstrahlung. FLEMMING (1990:65) nennt das die „geringfügige Benachteiligung des Westhanges gegenüber dem Osthang“. Mit dem Wissen, dass die häufigste wiederkehrende Wolkenbildung „... durch Hebung der Luft hervorgerufen wird“ und dieses erst nach Erwärmung der bodennächsten Luft im Zeitversatz nach der Phase der höchsten Einstrahlung im Lauf des Nachmittags geschieht, ist das Verschwinden der Tagesbewölkung im Lauf des Abends bei Bodenabkühlung zu verstehen (VAN EIMERN 1984:53).

Eingangsdaten für einen einfachen Berechnungsschritt stammen aus FLEMMING (1990:65ff) bzw. GEIGER et al. (1961): In den Monaten März bis September erhalten die Westhänge nur etwa 95 % der „mittleren monatlichen Tagessummen der Bestrahlung“, so dass festgelegt wurde, in diesen Monaten bei 200° bis 270° großen Azimuthwinkeln die Einstrahlung auf 0,95 zu reduzieren.

d Berücksichtigung der monatlichen Bewölkungsverhältnisse

Wegen der monatspezifischen Sonnenstände und der zellenspezifischen Wirkung zuvor genannter Faktoren kann es vorkommen, dass bestimmte Zellen in bestimmten Monaten besonders hohen Strahlungseintrag, wie er bis zu diesem Punkt hergeleitet wurde, erfahren.

Nimmt man an, dass eine Zellengruppe A besonders hohe Werte im Monat M1 erhalte, eine Gruppe B aber im Monat M2 und diese beiden Monate ganz unterschiedliche Sonnenscheindauer bzw. Bewölkungsanteile haben, so müßte die Vernachlässigung der monatlichen Bewölkung zu Fehlern führen. Auch BIEDERBICK (1992:132) weist auf die Reduzierung der „potentiellen Besonnungssummenwerte“ aufgrund der monatlich unterschiedlichen Bewölkung hin. Somit wurden anhand von Daten Meteorologischer Jahrbücher des DWD für die Station Göttingen Faktoren errechnet.

Tab. 12: Faktoren zur Einstrahlungsverringerung nach monatlichen Bewölkungsverhältnissen, Station Göttingen. Abgeleitet aus dem Mittel der Bewölkung (in Achteln des Himmels) der Jahre 1980-1989, nach DWD.

Mai	Juni	Juli	August	September
0,64	0,70	0,65	0,62	0,65

Die monatlichen Unterschiede sind gering. Im Juni ist der Faktor (als Divisor) groß, also am bedeutsamsten (0,70), im August am kleinsten; dann wird der bis zu diesem Schritt berechnete Strahlungsindex am wenigsten verändert.

e Berücksichtigung der „Geländerauhigkeit“ in Form eines ideellen Bestandesraumes

Der Wald ist modelltechnisch keine glatte Fläche. Vielmehr kann man ihn als „Raum“ im Sinn eines „Volumens“ auffassen, was „oben“ durch die Bestandeshöhe und „unten“ durch die Geländeoberfläche begrenzt wird. HOFFMANN (2001:44) greift dies in einem anderen Kontext auf: Sie spricht von „Wuchsräumen“, in denen Bestandesvorräte berechnet werden sollen.

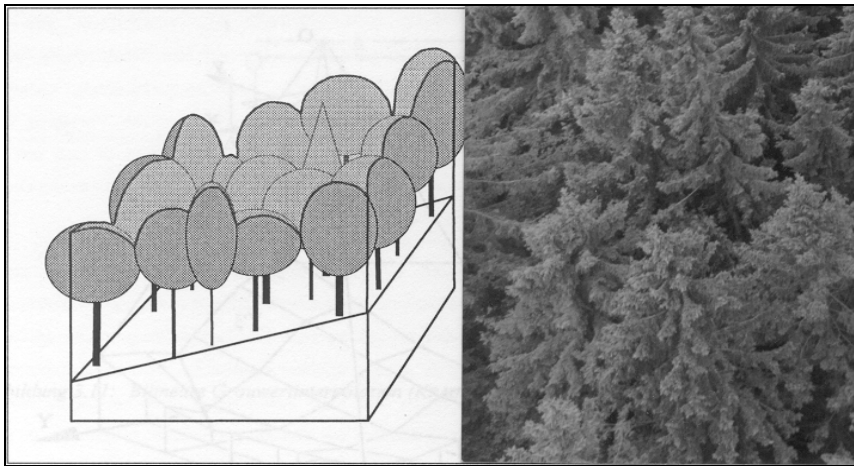


Abb. 27: Schematischer Bestandesraum und in einer Luftbild-Schrägaufnahme.
Aus: HOFFMANN 2001:45 (links), Fotograf und Örtlichkeit unbekannt.

Das Volumen wird zu einem beträchtlichen Teil durch den Bestand ausgefüllt. Zum Teil trifft die Einstrahlung auf den Bestand, zum Teil gelangt sie an den Boden. Das bedeutet aber, dass sich die Einstrahlung auf dieses „Bestandesvolumen“ verteilt und nicht auf eine Fläche, die die Ausdehnung des Bodens hat. In diesem Zusammenhang wurde mit Unterstützung von SABOROWSKI (1998) ein Programm erstellt, das bei Annahme einer Bestandeshöhe von 20 m das „Volumen“ je nach Orientierung des Hanges in Relation zum Strahl berechnet. Der Strahl und die Fläche, auf der der Bestand stockt, sind jeweils durch zwei Werte charakterisiert: Durch *altitude* und *azimuth* einerseits und Neigung und Neigungsrichtung andererseits, d.h. insgesamt vier Winkel. Die räumliche Einheit, für die alle Berechnungen ausgeführt werden, sind Zellen von 10x10 m Größe. Wegen des in der Natur nahezu kontinuierlich wechselnden Reliefs und der geringen Zellengröße im Verhältnis zur angesetzten Bestandeshöhe 20 m kann es streng genommen keinen homogen ausgeformten Bestandesraum geben. Bei den Berechnungen wird aber vereinfachend davon ausgegangen, dass sich benachbarte Zellen in Neigung und Neigungsrichtung ähneln, also annähernd homogene Bestandesräume vorliegen.

Die Option *all* wird bei Verwendung dieses Faktors „Bestandesraum“ durch die Option *shadow* ersetzt. Es wird zuerst also simuliert, ob eine Zelle Z0 beleuchtet wird (Wert 0 oder 1). Wenn ja, so wirken die Modifikationsfaktoren Extinktion und Bewölkung und der Bestandesraum auf den Wert 1 ein.

Die Waldflächen des Berglandes rangieren in einer Höhe von etwa 150 m bis 420 m. Legt man den Beginn und das Ende der Vegetationszeit mit dem Schwellenwert 10°C Tagesmitteltemperatur fest (MUES 2000, AKS 1996), so ergibt sich eine Vegetationszeit von 157 bis 145 Tagen. Somit kann man die in der Forstwirtschaft übliche Zeitspanne Mai - September, die 153 Tage umfasst, als Referenzzeitraum verwenden, um einen Einstrahlungsindex der Vegetationszeit durch Addition der Monatswerte abzuleiten. Bei größeren Höhendifferenzen würde eine derartige Verallgemeinerung nicht sinnvoll sein.

Das Ergebnis sind drei Einstrahlungsindizes (Abb. 28). *EINSTR* berücksichtigt nur das Auftreffen des Lichts auf Z0 ohne weitere Modifikationen wie z.B. durch die Bewölkung. *EINSTRMODBES* berücksichtigt alle Modifikationen der Punkte a bis e. *EINSTRMOD* hingegen berücksichtigt alle Punkte außer e, das Bestandesvolumen, und nutzt stattdessen den Einfallswinkel auf eine gedachte, glatte Zelle Z0.

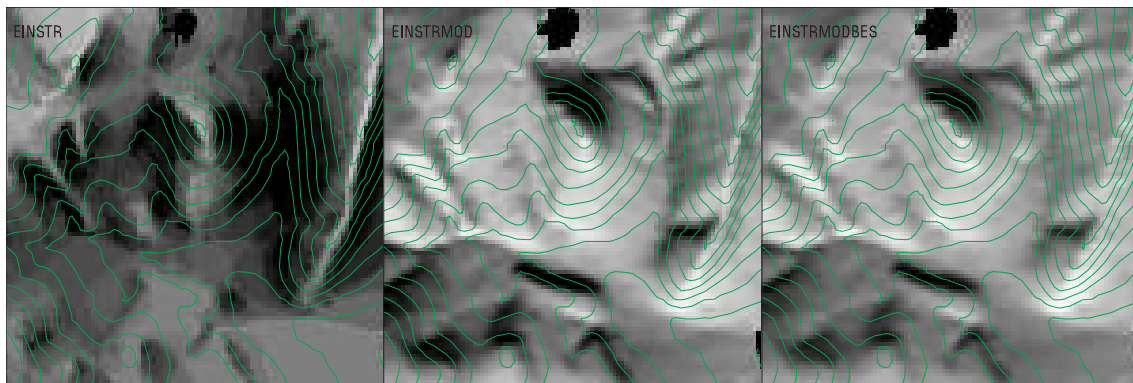


Abb. 28: Einstrahlungsinformationenlagen.
 Unmodifiziert (EINSTR) und mit den Faktoren a-d oder a-e modifiziert (EINSTRMOD, EINSTRMODBES).
 Bezugszeitraum Mai-September. Hell ~ hohe Werte. Ausschnitt 3544000 5712200 3547000 5714200.
 Maßstab 1:20.000.

Ähnlich abgeleitete Einstrahlungswerte wurden von STÜBER (1998:133) bei der Untersuchung des standortbezogenen Jugendwachstums der Lärche getestet und als geeignet eingeschätzt. Ein Beispiel der Bedeutung der Einstrahlung für den forstlichen Standort wird bei BIEDERBICK (1992:135) gegeben. Er fordert, sich von der qualitativen Beschreibung des Standorts mit Begriffen wie „schattseitig“ und „sonnseitig“ zu entfernen und quantitative Größen heranzuziehen (vgl. 7.3.1).

Die Indizes vernachlässigen diffuse Himmelsstrahlung; würde man sie integrieren, wären die Differenzen im Raum geringer, weil in Phasen hauptsächlich diffuser Himmelsstrahlung die Einstrahlungsinputs zwischen Zellen nur wenig differieren.

5.2.4.4 Niederschlag

Der Niederschlag ist eine bedeutsame Komponente des Gesamtwasserhaushalts, der sich aus klimatischen und bodenbürtigen Merkmalen des Standorts zusammensetzt. Die wichtigste Einflußgröße für die Niederschlagsmenge ist nach MUES (2000) im Niedersächsischen Bergland die absolute Höhe. Die absolute Höhe wird in dieser Arbeit, soweit es angebracht erscheint, als Variable eingeführt und auf ihre Eignung getestet. Demnach ist indirekt auch der Niederschlag berücksichtigt.

5.3 Geologische Daten

Bei BOMBIEN & STOLZ (1993) findet sich eine umfassende Übersicht der Arbeiten, die mit der Digitalisierung analoger geologischer Informationen Niedersachsens einhergehen: Die Aufbereitung analoger Karten, die Erstellung eines „Schichtenkatalogs“ und damit zusammenhängend die Definition von Datenfeldern und deren Werten und die Einbindung in das NIBIS (3.2.1). Es wird auf die Relevanz der geologischen Information, die bis zu einer Tiefe von 2 m dargestellt ist, für bodenkundliche Fragestellungen, hingewiesen (vgl. HINZE 1983:13). Ausgabemöglichkeiten, basierend auf den spezifischen Eintragungen in den Datenfeldern, wie z.B. die Darstellung anthropogener Aufschüttungen innerhalb eines Blattschnittes, werden dort verdeutlicht.

Für das Bergland lagen 2 digitale Blätter neueren Datums vor (Abb. 31):

4224 Lauenberg und 4324 Hardegsen (veröffentlicht 1976, 1965. Hardegsen kartiert 1947-1950). In Bl. 4224 liegt das Validierungsgebiet (1.2.2). Teile der Modellierungsdaten fallen mit Bl. 4324 zusammen.

Für das Harzvorland, das auch dem Bergland zugerechnet wird (1.2.1), lagen 3 Kartenblätter digital vor: 4027 Lutter am Barenberge, 4127 Seesen und 4227 Osterode (veröffentlicht 1913, 1976, 1976).

Sie decken Teile des Stadtforstes Goslar und Osterode und der Staatlichen Forstämter Seesen, Lautenthal, Grund, Clausthal-Schulenburg und Riefensbeek ganz oder teilweise ab. Aktuelle digitale Standortdaten dieses Gebietes waren ebenso verfügbar. Insgesamt konnte somit auch ein Vergleich zwischen GK25-Information und forstlichen Standorten exemplarisch für den Harz durchgeführt werden, um methodische Rückschlüsse für das Bergland zu ziehen. Blatt 4127 berührt aber auch standortkartierte Bereiche des FOA Stauffenburg, Rev. Gittelde, die in dieser Arbeit als „Bergland“ als bezeichnet werden (Lage vgl. HINZE 1976:6 und 11). Ähnliches gilt für Bl. 4027 im Norden und 4227 im Süden, wofür allerdings keine digitalen aktuellen Standortkartierungen zur Verfügung standen.

Wenn die Modellierung ökologischer Informationen geplant ist, wird oftmals leichtfertig von der Nutzung „der Geologie“ gesprochen. Dabei wird nicht die Vielfältigkeit der geologischen Information bedacht. Die Legenden eines beliebigen analogen GK25-Blattes neueren Datums des Niedersächsischen Berglandes beinhalten nicht selten 50 bis 70 Signaturen. Konform zu dem Wesen der geologischen Information stellen viele Signaturen eine Schicht bzw. Einheit dar, die mit anderen kombiniert werden kann oder muß. Das treibt die Vielzahl der Werte in die Höhe. Neben dieser analogen, blattinternen Informationsflut bestehen landesweit und so in der Breite des aufzubauenden Modells mehrere Probleme:

- Gegenüber der analogen Version noch ausgedehntere Informationsfülle der digitalen Version.
- Unterschiedlichen Richtlinien und subjektiven Meinungen im Wandel der geologischen Kartierung.
- Methodische Diskrepanz zwischen Geologischer Kartierung und Modellzielgröße Forstl. Standort.
- Fehlen von Kartierungen.

In Anbetracht dessen und nach Sichtung der Daten stellte sich durchaus die Frage, ob GK25-Information überhaupt praktikabel, d.h. operationalisierbar, im Rahmen dieser Arbeit eingesetzt werden sollte. Dies wäre nur sinnvoll, wenn eine gewisse „Allgemeingültigkeit“ erreicht werden könnte und nicht nur kleinflächige, wenig repräsentative, lokale Lösungen formuliert werden könnten. GK25-Information erschien aber als Basis der Substrate und somit auch der Nährstoffversorgung zu wichtig und zu wertvoll, um sie ignorieren zu können. Deshalb wurde versucht, sie für die Modellierung in Wert zu setzen.

Die engräumige Vielfältigkeit geologischer Festgesteinseinheiten im niedersächsischen Bergland verdeutlicht Abb. 29. Elf geologische Stufen vom Oberen Zechstein bis Unteren Jura streichen auf einem nur 1700 m langen Profil der Asse südlich Braunschweig (FOA Königslutter bzw. Elm) aus. Die weiter differenzierenden faziell-lithologischen Unterschiede kommen dabei noch nicht zur Geltung.

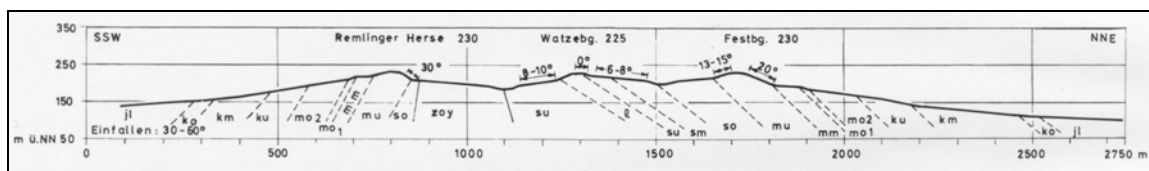


Abb. 29: Geologisches Querprofil der Asse südlich von Braunschweig, FOA Elm.
Aus: BROSCHE (1968, Beilage 8, Profil 17). Höhenmaßstab 1:10.000, Längenmaßstab 1:20.000.

5.3.1 Informationsgehalt, Auswahl und Modifikation vor dem Hintergrund der Modellierung

In den analogen Kartenblättern liegt das Hauptaugenmerk auf den stratigraphischen Angaben, die durch die Signatur und die darin z.T. verzeichneten Kurzangaben verdeutlicht werden. Aber auch petrographische oder genetische Informationen sind angegliedert (Bsp.: GK25 4224 Lauenberg):

Stratigraphie / Genese:	qh,,Lf	Quartär, Holozän. Flußablagerung, Auelehm, Lehm fluvial
Stratigraphie / Petrographie:	smVW	Mittlerer Buntsandstein, Volpriehausen-Wechselfolge. Sandsteine, meist feinkörnig, in Wechsellagerung mit Ton- und Schluffstein.

Die digitale GK25 gibt Informationen, die mindestens hinsichtlich 5 Kriterien betrachtet werden können:

- Differenzierung Schichtenanzahl
- Differenzierung Locker - Festgestein
- Differenzierung Chemismus / Korngröße
- Kombinationen der Merkmale wie Stratigraphie, Haupt- und Nebenpetrographie
- Kombinationen von petrographischen Einzelwerten

Dies ergibt einen mehrdimensionalen Betrachtungsraum, der für die Verwendung zur Modellierung gegliedert werden muß. Die Karte enthält Informationen zu den Merkmalen **Stratigraphie, Haupt- und Nebenpetrographie**, Humus, Kalk und Genese. Die Merkmalsangaben wiederholen sich für maximal vier Schichten. Typische digitale Petrographieangaben der GK25 in Blatt 4224 sind:

^t,^u	Tonstein, Schluffstein	für Festgesteine
^k	Kalkstein	
^fs	Feinsandstein	
^s	Sandstein	
U	Schluff	für Lockergesteine
G-X,S,T,U	Kies-Steine, Sand, Ton, Schluff	

(Vgl. PREUSS et al. 1991). Stratigraphische Einheiten werden petrographisch i.d.R. differenziert, so z.B. die Schaumkalk-Bänke des Unteren Muschelkalks (muS): ^k und ^kp und ^k,^kp und ^d,^k,^km kommen in der digitalen Datenbasis vor. Mehr als vier petrographische Angaben treten aber nicht auf.

Hingegen ist die petrographische **Nebeninformation** komplexer. In Blatt 4224 gibt es für die erste Schicht der 111 Einheiten 48 Werte, wobei lange Zeichenketten wie „bk-dn,zt(^t,^u),zt(q)“ oder „vo4(kgf),wl(^t,^u)“ oftmals vorkommen (PREUSS S. 140-161). Einen Teil der Nebenpetrographieangabe können paläontologische Informationen einnehmen, die in diesem Kontext nicht bedeutsam sind. Von standörtlichem Interesse wären aber die mineralogischen Angaben wie „Ca“ für Calcium oder „car“ für Karbonate. Auch die Angaben zu den Bindemitteln, wie z.B. q (quarzitisch), i (kieselig), k (kalkig) oder car (karbonatisch) könnten bedeutsam sein. Die Informationen beziehen sich aber nicht auf die ganze digital ausgewiesene geologische Einheit, sondern auf einzelne Lagen oder Bänke (Kürzel lag, bane). Zuweilen werden wenig quantitative Aussagen getroffen, wie vo (vorhanden), wl (wechsellagernd), lok (lokal) oder zt (zum Teil). Diese Informationen werden in einer Aufzählungsform bereitgestellt, wobei davon auszugehen ist, dass die vorgenannten Eigenschaften überwiegen. Wegen der Vielzahl der Werte, der unklaren Stärke einer Ausprägung und der kaum

operationalisierbaren Komplexität und wegen der unsicheren Lokalisierung bestimmter Ausprägungen innerhalb einer ausstreichenden Einheit wurde die Nebenpetrographie nicht berücksichtigt. Dass diese Informationen in der Neben- und nicht in der Hauptpetrographieangabe gegeben werden, läßt ohnehin vermuten, dass sie keine grundsätzlich abweichende forststandörtliche Einschätzung bewirken dürften (vgl. Exkurs Nebenpetrographie, 7.1.4.1.10).

Als nächstes war die **Verwendbarkeit der einzelnen Schichten** und ihrer Kombinationen zu klären. Zweischichtige geologische Einheiten kommen weniger oft vor als einschichtige. Drei- und vierschichtige treten in den verwendeten Harzvorland-Blättern nahezu gar nicht auf:

Innerhalb der drei o.g. Blätter des Harzes gibt es 279 Einheiten, 79 davon sind zweischichtig und nur 4 sind dreischichtig. In Blatt 4224 des Berglandes treten von 111 Einheiten 40 mal zweischichtige und 11 mal dreischichtige Einheiten auf. Interessant ist der Fall, in dem bei Einschichtigkeit diese eine Schicht nur Lockermaterial darstellt, denn dann ist keine Angabe für das unterlagernde Festgestein vorhanden. Neun geologische Einheiten betrifft dieses Manko. Dies wäre nicht negativ, wenn diese eine Schicht für die Substrat / Lagerungsmodellierung geeignet wäre. Das trifft nicht zu, wie später dargelegt wird.

Für Blatt 4324 sind in der digitalen Datenbasis nur einschichtige Einheiten genannt. 53 Einheiten bestehen, 10 davon beziehen sich auf ausschließlich Lockergesteine und 9 auf Sonderflächen wie Wasserflächen oder sind nur stratigraphisch ohne Petrographieangabe aufgeführt. Die Areale der beiden Blätter 4224 und 4324, die keine Information des unterlagernden Festgesteins aufweisen, zeigt Abb. 30.

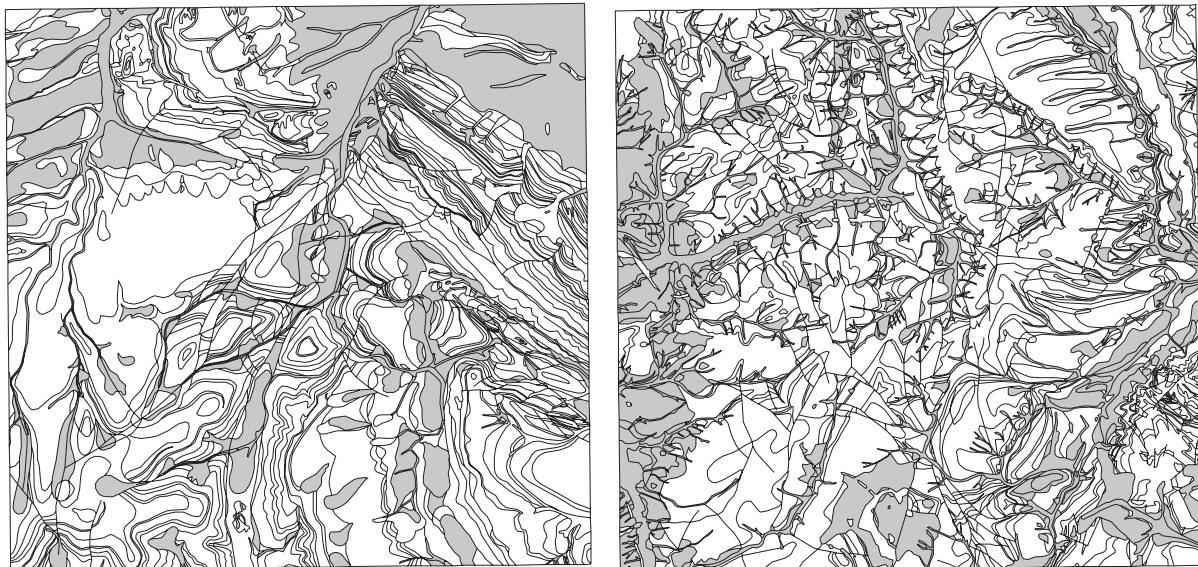


Abb. 30: Lockermaterial-Einschichtigkeit der geologischen Information in GK25-Blättern. Grau ~ einschichtig. 4224 (links) und 4324 (rechts). Blattkonstellation verändert ! Maßstab: 150.000.

Es war zu klären, ob auch die **dritten und vierten Schichtangaben** je geologischer Einheit in Betracht zu ziehen sind. Dazu ist wissenswert, woraus sind sie aufgebaut sind und was im Hangenden vorliegt. In allen 11 Fällen der Dreischichtigkeit in Blatt 4224 ist der erste Petrographiewert „U“. Zehnmal folgt in der zweiten Schicht „G-X,S,T,U“. Erst darunter liegt in neun Fällen Festgestein wie z.B. $\wedge s, \wedge t, \wedge u$:

Schicht	Petrographie	Stratigraphie
1	U	qw
2	G-X,S,T,U	qw
3	$\wedge s, \wedge t, \wedge u$	smS

Reine Kiese (G) der stratigraphischen Einheit qp(a) bilden die Ausnahme bezüglich der zweiten Schicht. Als Ausnahme treten im Bereich der dritten Schicht tertiäre Tone auf. Nahezu alle ersten und zweiten Schichten tragen den stratigraphischen Wert qw. Es handelt sich demnach um Lockermaterial, in der Regel nicht tiefer reichend als zwei Meter. Darunter schließt also die dritte, substratrelevante Schicht an, zumeist eine Festgesteinsschicht. Ein Auftreten von Festgestein in der zweiten Schicht gefolgt von Festgestein in der dritten, was zu einem Ausschluß der dritten aus dem relevanten Wurzelbereich führen würde, ist kaum denkbar. Demnach kann das Vorkommen der dritten oder auch vierten Schicht nicht als ausschließendes Verwendungskriterium wirken.

Weiter war die **Mindest- und Höchstmächtigkeit der kartierten Lockersedimentschichten** und die Durchgängigkeit des Verfahrens zu hinterfragen, eines der entscheidenden Probleme bei der Nutzung von GK25-Informationen für bodenkundlich-standörtliche Anwendungen. Die forststandörtliche Betrachtung bezieht sich im allgemeinen auf die effektive Durchwurzelungstiefe bzw. den effektiv durchwurzelbaren Raum (AKS 1996:115): „Die effektive Durchwurzelungstiefe (W_{eff}) ... ist -modellhaft- die Äquivalenttiefe des maximal erreichbaren Wasserentzugs durch Wurzeln.“ „Bei gleicher Bodenart nimmt der effektive Wurzelraum in der Regel in folgender Reihenfolge zu: Grünland < Ackerland < Wald.“ (SCHEFFER et al. 1984:179). Trotz der relativ großen Wurzelräume von Bäumen besteht eine Begrenztheit, die in dieser Arbeit bei 2 m Tiefe angenommen wird. Dies korrespondiert mit den Betrachtungstiefen bei der geologischen Kartierung. Von daher tritt kein vordringliches Problem auf.

Es bietet sich für die **Prüfung der Eignung kartierter Lockersedimenteinheiten** an, die Kartiergepflogenheiten je Blatt zusammenzustellen. Zur Orientierung dient Abb. 31.

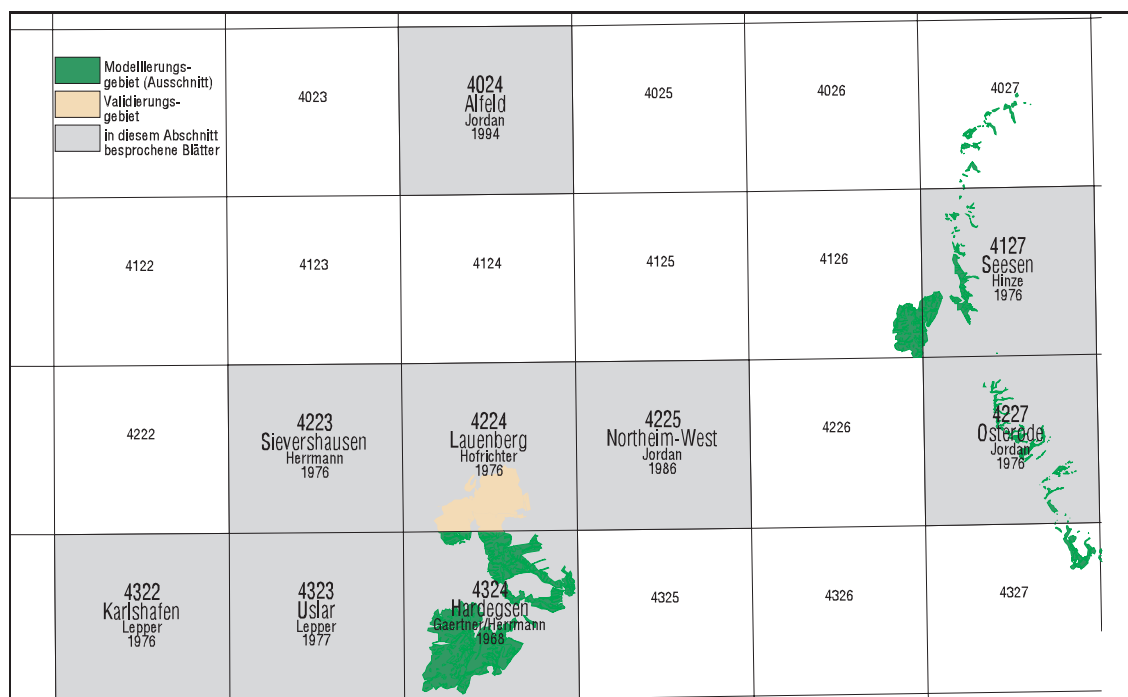


Abb. 31: GK25-Blätter, Modellierungsdaten und Validierungsdaten.
Blattnummer, -name, Kartierer, Jahr. Maßstab 1:500.000. (Vgl. Abb. 1 und Abb. 3).

Bergland: JORDAN (1994:8), GK25 4024 Alfeld:

In diesem Blatt ist wegen der geologisch prägnanten „Hilsmulde“ eine recht deutliche Gliederung in tertiäre oder jüngere Lockergesteine einerseits und die älteren Festgesteine andererseits zu erkennen. „Als Ergebnis wird die ... Karte ... vorgelegt ..., die den Schichtenaufbau bis zu einer Tiefe von 2 m unter Geländeoberfläche wiedergibt. Im Quartär werden Schichten unter etwa 0,5 m Mächtigkeit vernachlässigt. Darunter fällt, auch wenn z.T. über 0,5 m mächtig, der Hanglehm: Verwitterungsgrus des unterlagernden Festgesteins, mehr oder weniger umgelagert und mit Löß vermengt. Auf der Karte treten Überlagerungen von maximal drei Schichten auf. Wo im 2-m-Bereich mesozoische Gesteine unter Quartärbedeckung vorkommen, ist ihre Verbreitung durch einen Farbsaum gekennzeichnet.“ Die Aussage zum „Hanglehm“ ist standörtlich bedeutsam, da dieser „Verwitterungsgrus“ i.d.R. auch in dem Tiefenbereich vorliegt, der wurzelerreichbar ist. Er wird also wie geringmächtiger Löß in der GK25 nicht dargestellt, kann aber vielfach vorhanden sein.

Harz / Harzvorland: HINZE (1976:52ff), GK25 4127 Seesen:

Es gibt Angaben zu den quartären Vorkommen vornehmlich im Harzvorland (Bergland), aber keine Schwellenwerte zu deren Auskartierung.

Harzvorland / Harz: JORDAN (1976:8), GK25 4227 Osterode a. H.:

„Auf der geologischen Karte sind die quartären Schichten bis zu einer Tiefe von 2 m dargestellt. Kommen in diesem Tiefenbereich mehrere Schichten übereinander vor, werden sie alle auf der Karte ausgewiesen, vorausgesetzt, ihre Mächtigkeit beträgt mindestens 0,5 m.“

Bergland: HOFRICHTER (1976:53 und 57), GK25 4224 Lauenberg:

„Quartäre Schichten wurden nur dargestellt, wenn sie mindestens 0,5 m Mächtigkeit erreichen und größere Flächenareale geschlossen bedecken.“ Und weiter zum Thema „holozäner Hanglehm“:

„Da der Hanglehm selten Mächtigkeiten von mehr als 0,5 m erreicht und diese Mächtigkeit zudem noch entsprechend der stärker reliefierten Festgesteinsoberfläche auf kleinem Raum stark schwankt, wurde er im Solling-Anteil des Kartengebietes nicht auskartiert.“

Die kartographische Lösung, quartäre Lockermaterialbereiche mit einem Farbsaum darzustellen, wenn im 2 m-Bereich Festgestein ansteht, findet sich in diesem Blatt oftmals (vgl. Bl. 4024, 4225)

Im übrigen wird hier blattspezifisch die Unterscheidung zwischen Solling und Umland vollzogen, wobei das Kartenblatt selbst keine klare Auskunft über die Trennung der Bereiche gibt. Anscheinend sind aber das nördliche Drittel und Teile der östlichen Hälfte nach HOFRICHTER nicht dem Solling als tektonischer Einheit zugehörig. Zum Teil liegen die geologischen Einheiten im standortkartierten Bereich des Validierungsgebietes (Abb. 1). Es wird trotz seiner Zugehörigkeit zum Solling im Sinn von HOFRICHTER das Blatt Lauenberg wegen der Reliefverhältnisse dem „Bergland“ zugerechnet.

Bergland: LEPPER (1977:54f), GK25 4323 Uslar:

„Fließerde ist außerhalb der weichselzeitlichen und holozänen Talböden weit verbreitet. In hohen Lagen und an steileren Hängen fehlt sie wohl durch Abtragung oder ist nur wenige Dezimeter mächtig, so dass sie zur besseren Darstellung der unterlagernden Festgesteine auf der Karte abgedeckt wurde. Im tieferen Teil nicht zu steiler Hänge hat sie sich bevorzugt erhalten. Stellenweise konnte sie hier unter mehr als 2 m Lößmaterial nicht mehr kartiert werden.“ Zu der sog. Lößdeckfolge schreibt LEPPER fast wortgleich zu Bl. 4322 „... Quartär ... nicht dargestellt worden, auch wenn es großflächig mächtiger als 0,5 m ist.“

Bergland: HERRMANN (1968:132ff), GK25 4324 Hardeggen:

Zum Quartär allgemein: „Ein detailliertes Abbohren des gesamten Blattgebietes ist unterblieben. ... Begehungen, bei denen eine Anzahl 2-m-Bohrungen vorgenommen worden sind, durchgeführt, ...“

„Die Gliederung der quartären Bildungen ist bis in die wichtigen stratigraphischen Gruppen vorangetrieben worden; eine Einhängung in gesicherte Schemata der Nachbargebiete und eine feinere Unterscheidung, ..., mußten unterbleiben.“

Zu Solifluktionsbildungen: „Die heutigen Vorkommen sind nur Erosionsrelikte einer früher wesentlich größeren Verbreitung. Aber auch die heutige Verbreitung der Fließerden kommt auf dem Kartenblatt nicht annähernd zur Geltung, weil in Gebieten, in denen Solifluktionsbildungen weniger als 50 cm mächtig sind, eine Darstellung derselben unterblieben ist, zum anderen, weil große Areale mit Fließerden vom Löß bedeckt sind.“

Blatt 4324 stellt zusätzlich eine Besonderheit dar, weil in der digitalen Version keine Mehrschichtigkeit vorkommt. In der Konsequenz heisst das, dass bei kartierten Lockermaterialien, die beispielsweise nur 1 m mächtig sind, genau wie bei solchen, die knapp über 2 m mächtig sind, keine Information des Unterlagernden zu erhalten ist. Diese beiden Möglichkeiten liegen den grau dargestellten, einschichtigen Flächen in Abb. 30 (rechts) zugrunde.

Bergland: JORDAN (1986), GK25 4225 Northeim-West:

Das östlich an 4224 Lauenberg anschließende Berglandblatt 4225 ist im Zentrum zum Großteil durch das Leinetal bestimmt. Im Nordosten und Südwesten finden sich aber berglandtypische Erhebungen von 200-400 m. „Die Grundkarte gibt den Schichtenaufbau bis zu einer Tiefe von 2 m unter Geländeoberfläche wieder.“ (S. 7). Analoge Einheiten wie beispielsweise Lol//fl und ähnliche kommen im bewaldeten Berglandbereich vor und zwar mit einer Mächtigkeit von mehr als 2 m. Es finden sich aber keine Angaben der Kartiergepflogenheiten zum Thema Mindestmächtigkeit. Nur der Hinweis „Umgrenzung des Festgesteins bei <2 m Quartärbedeckung“ in der Kartenlegende zeigt, dass auch derartiges Material geringerer Mächtigkeit auskartiert wurde. Mehrmals wird auf die allgemein große Mächtigkeit quartären Materials (Talfüllungen, Löß über Subrosionssenken etc.) hingewiesen. Dies läßt vermuten, dass von anderen Blättern abweichende Kartiergepflogenheiten zum Einsatz kamen, um die Relationen in Blatt 4225 moderat abzubilden.

Eine Beilagenkarte „Geomorphologische Übersichtskarte“ von BRUNOTTE & GARLEFF im Maßstab 1:50.000 gibt Auskunft über die markanten Hangformen und Talformen wie Kerb-, Sohlen- und Muldental und somit auch über Ausformungen des Reliefs, wie sie für die FSK10 von Bedeutung sind.

Im westlichen und zentralen Solling, der nicht Gegenstand ist, aber z.T. auch relativ neue geologische Karten aufweist, die zur Erläuterung des GK25-Problems beitragen, gab es folgende Vorgehensweise:

Zentraler Solling: HERRMANN (1974:6), GK25 4223 Sievershausen:

„... zur Abgrenzung der quartären Überdeckung ... Handbohrungen bis zu 2 m Tiefe niedergebracht.“

„... wurde der meist nur wenige dm mächtige, auf mehr als 95 % der Buntsandstein-Fläche verbreitete, überwiegend holozäne Gehängelehm auf der Karte weggelassen.“

Westlicher Solling: LEPPER (1976:71), GK25 4322 Karlshafen:

Zum Thema der Kartierung der stratigraphisch-genetischen Einheiten holozäner Hanglehm, weichselkaltzeitlicher Löß und weichselkaltzeitliche Lößfließerde: „In Gebieten, in denen sich die Festgesteinsschichten unter geringmächtigem Quartär kartieren ließen, ist dieses zur Verdeutlichung der Untergrundverhältnisse nicht dargestellt worden, auch wenn es stellenweise mächtiger als 0,5 m ist. Die Fläche der Lößdeckfolge ist in der Karte wesentlich kleiner als sich nach dem Geländebefund ergibt, Diese Feststellung ist wichtig für die Aussagen über die Verbreitung der Böden.“ (vgl. Bl. 4323).

Zwischenergebnis:

In der Regel sind in der geologischen Grundkarte 1:25.000 die Verhältnisse bis in eine Tiefe von 2 m dargestellt, was positiv zu beurteilen ist, weil dies den Interessensbereich der FSK10 beinhaltet. Gerade aber in dem für die Baumwurzeln und somit das Wachstum wichtigen Tiefenbereich bis zu 0,5 m weist die GK25-Grundkarte bestimmte Einheiten nicht aus bzw. bringt nur die etwas mächtigeren oder sogar nur die deutlich mächtigeren Materialien hervor. Die Umsetzung ist uneinheitlich.

Die Diskrepanz würde ein methodisches Problem bei der Nutzung der GK25 zuerst bei der Substrat / Lagerungsherleitung und damit indirekt im nächsten Modellierungszweig auch bei der Wasserhaushaltsmodellierung und schließlich auch für die Nährstoffherleitung (Kap. 7) darstellen. Auf Uneinheitlichkeiten innerhalb eines Kartenwerks bezüglich der Abbildung bestimmter Merkmale (BK25 von Hessen, quartäre Deckschichten) weist auch FRIEDRICH (1996:161) hin.

Tab. 13: Häufigkeit entscheidungsrelevanter Untergrenzen des Quartärs der GK25 und der Decken der FSK10.

Untergrenze in dm	„Quartär“ der GK25	„Decken“ der FSK10
>1		
>2		16x
>3		13x
>4		11x
>5	Meistens	
>6	.	
>7	.	33x
>8	.	
>9	Uneinheitlich	
>10		
>11		
>12		
>13		
>14		
>15		3x
>16		
>17		
>18		
>19		
>20	Nahezu immer	vgl. Tab. 3 und 19

Nach der Beurteilung der Schichtmächtigkeit musste auch die **Verteilung der Einheiten im Raum** hinterfragt werden. Allerdings hängen Schichtmächtigkeit und Auskartierung und somit auch die Lage der Einheiten im Raum eng miteinander zusammen. Inwiefern ist auskartiertes Quartär (~Lockersedimente) der GK25 von Seiten der räumlichen Auflösung für die Modellierung geeignet? Anhand des Validierungsgebietes kann die Frage im Vorfeld der eigentlichen Modellierung geklärt werden. Es fungiert hier nicht als Validierungsgebiet im eigentlichen Sinn; ein anderer Ausschnitt aus dem Bergland könnte ebenso herangezogen werden. Abb. 32 zeigt einige berglandtypische Lagerungsklassen (Farbe) und einige geologische Einheiten der GK25 (Schraffur).

An Punkt +1 korrespondieren geologische Verhältnisse (qw, G-X,S,T,U) lagebezogen gut mit Lagerung 35 (Tab. 3). Standörtlich ist die Kombination fraglich, denn die Petrographieangabe suggeriert größeres Lockermaterial als bei 35 anzunehmen ist. Die Lageähnlichkeit findet sich vermindert auch bei Punkt +2. Konsequenterweise müßten dann aber auch die drei Flächen bei Punkt -1, -2 und -3 mit Lagerung 35 oder zumindest Substrat 3 einhergehen. Das ist nicht der Fall. Umgekehrt betrachtet müßten an den Punkten -4 und -5 auch Lockersedimente der GK25 auftreten. In der weiteren Umgebung von Punkt -6 ist gut die differenziertere Klassenausweisung der FSK10 zu sehen. Ähnliches findet sich im Osten (-7), wo lößbetonte GK25-Einheiten (senkrechte Schraffur) standörtlich mit Lagerung 35 und 34 korrespondieren, aber die Form der Flächen nicht gut harmoniert. Diskrepanzen finden sich aber auch bezüglich der Substratklasse 7 (Kolluvien, dunkelgrün). Sowohl in einem breiten Haupttal (-K1) als auch in schmalern Tälern (-K2) ist keine Kongruenz zu erkennen. Positiv fällt allenfalls noch auf, dass die GK25-Lockersedimente nicht mit Lagerung 22, die eher auf Flachgründigkeit schließen läßt, einhergehen.

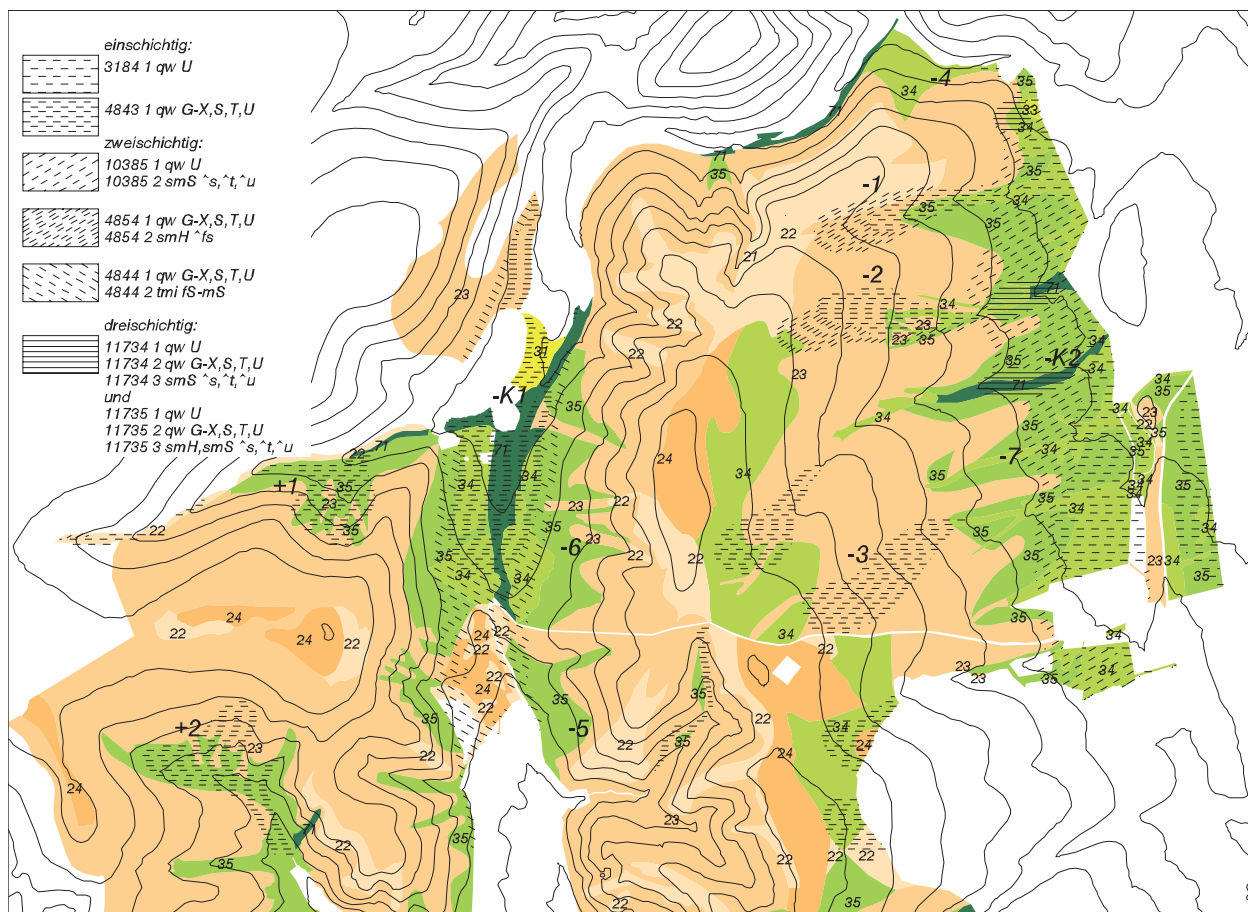


Abb. 32: Substrat / Lagerung und GK25-Lockersedimenteinheiten im Validierungsgebiet. (SUBLAG ~ Farbe und Ziffer). Maßstab 1:40.000. (Vgl. Tabelle und Karte 2a, 2b im Anhang). In der Legende sind die Attribute Inhalt, Schicht, Stratigraphie und Petrographie genannt. Inhalt ist ein GK25-internes Zeigerattribut.

Bei einer automatisierten Zuordnung von GK25-Einheiten basierend auf den größten Substratanteilen an der GK25-Einheit würde demnach eine Vielzahl von Fehlern eingebaut werden. Wenn man stattdessen gutachterlich in Anbetracht der Substratanteile entscheidet, also nicht unbedingt zugunsten der häufigsten Kombination, tritt ebenfalls der Fall auf, dass eine einzelne geologische Einheit zu einem nennenswerten Teil falsch zugeordnet wird.

Das vorgestellte Gefüge gibt die Uneinheitlichkeit innerhalb der GK25-Erstellung und die methodische Diskrepanz zwischen GK25 und FSK10 wieder. Eine Zuordnung von GK25-Lockersedimenteinheiten zu den Substraten 3 oder 7 bzw. Substrat / Lagerungsklassen ist somit nicht durchführbar. Bezüglich Substratklasse 1 wird aus besonderen Gründen abweichend verfahren (0).

Dies führt zu der Entscheidung, nur das unterlagernde Festgestein bei der Substratklassenmodellierung zu verwenden. In den Fällen, in denen kein Festgestein als Liegendes zusätzlich zu dem Lockermaterial angegeben wird, ist anhand der Umgebung der Flächen der geologischen Einheit zu entscheiden, welches Material mutmaßlich unterlagernd ist. Dazu dient Zusatzmodul 1 (7.1.4.1.11). Ferner ist diese Lösung nur in Einklang mit einer Modellierung der Lockersubstratklassen 3 und 7 auf anderem Weg möglich (Diskriminanzanalyse, 7.1.2). Wie die Festgesteinseinheiten bei der Modellierung eingebracht werden, ist in 7.1.3 und 7.1.4 dargestellt.

Die **ausschließliche Nutzung der GK25-Information „Petrographie“** je Schicht könnte in Hinblick auf die Herleitung von Nährstoffkennzahlen (7.5) ungenügend sein. Wird beispielsweise bei der Substratherleitung ein kalkhaltiger Tonstein zu der Klasse 5, Tone, gestellt, so könnte das Ergebnis unter Einbeziehung der Stratigraphie sein, dass er zu den Kalksteinen (Substrat 4) gestellt wird. Dies impliziert aber eine bessere Nährstoffversorgung als bei den Tonen. Kombinierte man Stratigraphie und Petrographie, würde die Anzahl kategorischer Werte deutlich höher als bei Nutzung nur der Petrographie. Dies war in dieser Arbeit nicht zu verwalten. Entscheidend wird ohnehin das Gestein als solches, nicht die zeitliche Einordnung sein. Folglich ist die geologische Basisinformation in dieser Arbeit zumeist die abgedeckte Petrographie der ersten oder auf das Hangende folgenden Schicht, PETa genannt. Ein Beispielwert ist t^u . Das Ergebnis ist aber nicht mit Karten der „präquartären Schichten“, wie z.B. der Beilage der GK25 4024 Alfeld, vergleichbar.

Falls es dem gegenüber für nebengeordnete Modellschritte sinnvoll war, die Stratigraphie und Petrographie zu kombinieren, wurde STRPETa erzeugt. Dabei wurde kein zusätzliches Zeichen zur Trennung der Komponenten vergeben (Bsp. so 4^t^u).

In den Fällen, in denen als IL eine vollständige Stratigraphie / Petrographieinformation der beiden ersten Schichten inklusive des auflagernden Lockermaterials angeraten war, hat die IL das Kürzel STRPET12.

In diesem Abschnitt konnte aufgezeigt werden, dass eine Auswahl und Modifikation geologischer Daten für die Verwendung bei der FSK10-Modellierung notwendig ist.

In Abschnitt 7.1.4.1.12 zur Herleitung der Intensitäten der petrographischen Eigenschaften im Einzugsgebiet werden ausgehend von der GK25 Informationslagen erzeugt, die als Variablen fungieren.

5.3.2 Verfügbarkeit geologischer Daten

Die sachliche begründete Eignung bestimmter Informationslagen wird entwertet, wenn die Informationen in Zukunft nicht in ausreichendem Maße verfügbar sind. Daher muss auch das Kriterium Verfügbarkeit diskutiert werden. Das NLFb informiert in analogen Übersichten und unter www.nlfb.de (30.10.01): „Gespeichert werden die geologisch relevanten Inhalte der Grundkarten zu allen gedruckten GK25 sowie allen Übersichtskartierungen im Maßstab 1:25.000, die als unveröffentlichte Manuskripte im Archiv des NLFb vorliegen. Bisher sind geologische Informationen für rund 75 % der Landesfläche digital verfügbar.“ Dies bezieht sich auf das ganze Bundesland und beinhaltet eben auch die Manuskript-Daten. Die digitale Produktion schreitet kontinuierlich voran, pro Jahr werden einige Blätter fertiggestellt. Im Januar 1998 waren laut „Blattübersicht der digital vorliegenden Karten“ etwa 30 Blätter freigegeben, etwa 12 noch nicht freigegeben und etwa 22 in der Rohfassung. 5 Blätter im äußersten Süden des Landes waren zu dem Zeitpunkt noch nicht digital bearbeitet. Dies bedeutet zwar, dass die Fertigstellung einige Jahre in Anspruch nehmen wird, die Bearbeitung ist aber weit gediehen. Im nächsten Abschnitt wird allerdings das Problem des lückenhaften Datenbestandes anhand ausgewählter GK25-Blätter erläutert.

Im europäischen Vergleich ist der Stand der Arbeiten positiv zu werten. Nach einer Umfrage hatten nur 9 von 29 europäischen Organisationen wie die BGR mehr als 50 % ihrer Fläche mit digitalen Karten im mittleren Maßstab 1:25.000-1:250.000 abgedeckt. Der in dieser Arbeit relevante Maßstab 1:25.000 liegt in der weiten Spanne der mittleren Maßstäbe. Nur 4 von 29 Organisationen antworteten, dass mehr als 50 % der Fläche in einem großen Maßstab >1:25.000 digital vorliegt. Nur 4 von 27 Organisationen verwiesen auf einen „nationalen“ Standard bei den Verzeichnissen für Lithologie, Stratigraphie und Tektonik, was die schwierige Handhabung geologischer Daten verdeutlicht (JACKSON & ASCH 2002:786f).

6 MODELLIERUNG: KONZEPTE und METHODEN

6.1 Konzeption und Lösungsansatz

Einige Prämissen und Modellierungsgrundlagen müssen zum Verständnis des vor allem für die Wasserhaushaltsmodellierung (Abschnitt 7.2 und 7.3) gewählten Ansatzes erläutert werden. Dabei werden die modellbezogenen Probleme, die die inhaltliche Struktur der Standortkartierung mit sich bringt, aufgegriffen (vgl. 2.3).

6.1.1 Kategorien der Standortkomponenten und Prämissen

Wie in Abschnitt 2.3 dargestellt, gliedert sich die forststandörtliche Information in die Komponenten Wasserhaushalt, Nährstoffversorgung und Substrat / Lagerung. Der einfachste, theoretische Fall der Zergliederung der Standortkomponenten ist:

Standortkomponente	Klassenanzahl	Beispielwerte
Wasserhaushalt	2	„trocken“ – „grundwasserbeeinflusst“
Nährstoffversorgung	2	„reich“ – „arm“
Substrat	2	„Festgestein“ – „Lockergestein“

Vor diesem Hintergrund ist zu hinterfragen, ob eine Komponente von einer anderen abhängig oder zumindest beeinflusst ist. Solange dies nicht der Fall ist, sind unabhängige, übersichtliche Modelle möglich. In der Realität ist es anders. Der Wasserhaushalt hängt auch von dem Substrat ab und die Nährstoffversorgung wiederum von Substrat und Wasserhaushalt (Abschnitt 7.5.2). Wegen dieser Zusammenhänge wird eine bestimmte Reihenfolge innerhalb des gesamten Standortmodells nötig. Der Ablauf muss so strukturiert werden, dass EDV-technische Praktikabilität und standörtliche Aussagekraft gewährleistet sind. Um dies zu erreichen muss das Spektrum und die Konstellation der Zielklassen verdeutlicht werden. Desweiteren dienen einige Prämissen als Eckpfeiler des Modellaufbaus:

- 1 Jede kartierte Standortklasse des Berglandes ist so bedeutsam, dass sie modelliert werden sollte.
- 2 Die Mindestanforderung ist, Substratklassen und Geländeformklassen zu modellieren.
- 3 In dem Konzept der Forstlichen Standortkartierung liegt eine dreifache Verschachtelung vor:
 „Substrat / Lagerung“ ist „Substrat“ übergeordnet (allgemein „Substrat“).
 „Bodenfeuchtigkeit und Geländeform“ ist „Geländeform“ übergeordnet („Wasserhaushalt“).
 „Wasserhaushalt“ ist u.a. von „Substrat“ abhängig.
- 4 Alle aktuell kartierten Bereiche des Berglandes können als Modellierungsdaten herangezogen werden.
- 5 Der jeweilige Zielraum ist ein Teilraum des Berglandes, nicht das gesamte unkartierte Bergland.

6.1.2 Klassenvorkommen und -größe im Parametrisierungs- und Zielraum

Sollen für einen Zielraum beliebiger Größe Standortklassen modelliert werden, so stellt sich zuerst die Frage nach den dort mutmaßlich vorhandenen Klassen. Wenn die Zielgröße die Standortkomponente „Geländeformgruppe“ (GFO) ist, so ist beispielsweise anfangs offen, ob auch die Klasse „Rücken“ vorkommt oder nur die anderen sechs auf dieser Aggregationsstufe möglichen Klassen (7.2). Ist die Klasse „Rücken“ anzunehmen, so stellt sich die Frage, in welcher absoluten und somit auch relativen Ausdehnung sie auftreten wird. Ist diese Klasse nicht zu erwarten, so verändert diese Erwartung das

Gesamtmodell für den Gesamtraum deutlich, weil ein Teilmodell entfällt. Wenn sie zu erwarten ist, so ergibt sich nur eine Variation in Modelloptionen (6.2.5).

Ein ähnliches Problem tritt bei der Auswahl der heranzuziehenden Modellierungsdaten auf, also der Daten, mit denen das Modell parametrisiert wird. Ist beispielsweise ein durch ein Forstamt abgegrenzter bereits standortkartierter Raum (F1) als Grundlage für einen benachbarten Raum (F2) verfügbar, so finden sich darin i.d.R. nicht alle möglichen Klassen. Die vorhandenen Klassen haben zudem eine forstamtsspezifische Ausdehnung:

	FOA F1		FOA F2	
Modellparametrisierungsklassen	%	Zielklassen	%	
A	25	A	10	
B	33	B	33	
C	42	-	-	
-	-	D	57	

Dieser Sachverhalt führt zu der Konsequenz, den Modellierungsraum als einen „ideellen“ Raum aufzubauen, der kein „ähnlicher“ Nachbarraum ist und in dem im günstigsten Fall alle möglichen Zielklassen vorkommen. Die Datenbasis ist somit „ideell“ und wird im folgenden kurz DB_1 genannt. Aber auch hier stellt sich die Frage nach der Größe (Fläche, Zellenanzahl) einer jeden Standortklasse, da die Menge kategorialer Daten der Klassen das statistische Modell beeinflusst (6.2.5). Sollten die Klassen, die zumeist geringe Flächenanteile eines Raumes belegen, in geringem Umfang in die Modellierungsbasis eingehen? Oder sollten alle Klassen mit gleicher Flächengröße (\sim Probandenanzahl) herangezogen werden?

Gegen die erstgenannte Möglichkeit spricht, dass das Modell dann jeweils genau auf diese eine Datenbasis ausgerichtet ist und die zugrunde liegenden Flächenanteile nicht unbedingt zu dem Zielraum passen. Dies könnte durch vorherige gutachterliche Abschätzung der Zielklassenanteile umgangen werden (7.6). Es bliebe dann aber der hohe Aufwand, für jeden neuen Zielraum ein neues Modell aufbauen zu müssen, in dem möglicherweise jeweils auch andere Variablen herangezogen werden.

Deshalb ist es günstiger, soweit das Endergebnis akzeptabel ist, Modelle auf Grundlage gleicher Klassengrößen zu entwickeln; die Datenbasis ist auch in dieser Hinsicht „ideell“. Das Modell beantwortet dann etwa die Frage: „Wie sind die Klassen K1 und K2 im allgemeinen zu trennen?“ Die von Fall zu Fall angestrebte unterschiedliche Klassengröße im Zielraum sollte dann nur durch spezifische Einstellung der Modelloptionen erreicht werden (6.2.5).

6.1.3 Zusammenstellung und Aktualisierung einer naturraumbezogenen, ideellen Modellierungsbasis

Naturraumbezogene Modellierungsbasis

Da in einem Harz-Forstamt (z.B. FOA Grund) durchaus Gesteine vorkommen, die nicht harztypisch, sondern berglandtypisch sind, ist es sinnvoller, den ideellen Basisdatensatz für das Bergland nicht streng administrativ, sondern naturräumlich aufzubauen.

Ein Zielraum ist zwar i.d.R. administrativ durch eine Forstamtsgrenze definiert, aber modelltechnisch kann er genau wie der ideelle Modellierungsdatensatz naturräumlich zergliedert werden. Betrachtet man das übergeordnete Ziel abstrakt, so geht es darum, Zellen bestimmte Standortklassen zuzuweisen. Jede

Zelle ist eine separate Einheit. Für die Zuweisung ist es belanglos, ob die Nachbarzellen und die Modellierungsdaten der Nachbarzellen administrativ zu einer anderen Einheit gehören, als die, die man beschreiben will. Es ist also zulässig, eine möglichst geeignete, fehlerfreie Modellierungsdatenbasis für das Bergland aus Standortpolygonen auch solcher Forstämter zu generieren, die größtenteils anderen Naturräumen angehören (FOA Grund ~ größtenteils Harz). Auch dieses Vorgehen spricht dafür, die Modellierungsdatenbasis als „ideell“ zu bezeichnen.

Obwohl es standörtlich und von Seiten der Verfügbarkeit notwendiger Variablen möglich wäre, bestimmte Klassen zu modellieren, kann dies allerdings mit der vorhandenen Berglanddatenbasis unmöglich sein. Die Datenmengen bestimmter Klassenkombinationen sind in manchen Fällen noch nicht ausreichend, wie später gezeigt wird (7.3.4).

Zusammenstellung

Weiter ist zu fragen, wie die „ideelle“ Modellierungsbasis zusammengestellt werden sollte. Es gibt kein Kriterium, das über die Qualität und Repräsentativität der einzelnen ehemals kartierten Flächen Auskunft gibt. Nur in manchen Fällen ist bei einer Sichtung der Daten zu erkennen, dass eine Klasse offensichtlich falsch vergeben oder digitalisiert wurde; solch ein Fall wird gelöscht. Alle anderen Flächen sind als korrekt aufzufassen und ihre Gesamtheit deckt die für eine Modellaufstellung typischen Merkmale einer Klasse ab.

Die Auswahl kann zufällig erfolgen, weil eine jede Zelle innerhalb eines Polygons als korrekter Träger der Standortinformation angesehen werden kann: Eine Fläche ist in einer bestimmten Ausdehnung kartiert, weil der Kartierer Grund dafür hatte, diese Fläche und somit auch die Zellen dieser Fläche, mit den jeweiligen Standortklassen auszuweisen. Es ist nicht notwendig oder angebracht, beispielsweise nur die inneren Zellen eines Polygons zu verwenden und die äußeren zu verwerfen. Dabei wäre es auch schwierig zu definieren, welches bei langgestreckten, schmalen Polygonen innere und äußere Zellen wären, denn alle sind nah am Rand positioniert.

Da aus bestimmten Gründen die schrittweise Modellierung jeder einzelnen Klasse einer Aggregationsstufe gegenüber einem sog. „Restraum“ favorisiert wird (6.1.5), gibt es in einem Modellierungsschritt zumeist nur zwei Klassen: Die eigentliche Zielklasse und die sog. „Restklasse“.

Wie sollte aber die Zusammensetzung des Restraumes strukturiert sein? Er beinhaltet Zellen, die in der kartierten Datenbasis verschiedenen Klassen angehören. Angenommen, der Restraum setze sich aus drei Klassen zusammen, die in der Datenbasis 50, 40 und 10 % der Fläche bedecken. Um einen für alle Zielräume allgemeingültigen Restraum ohne Betonung einer Klasse zu definieren, sollte aber jede der drei Klassen etwa 33 % des Restraumes ausmachen. Die Flächensumme aller drei Klassen soll wiederum genauso groß sein wie die Fläche der eigentlichen Zielklasse. Um dies zu erreichen, muss in jedem Schritt spezifisch in Orientierung an die am geringsten ausgedehnte, beteiligte Klasse ein Datensatz zusammengestellt werden. Bei häufigen Klassen (z.B. „Hang“) ist dann aber ein Großteil der Basisdaten zu verwerfen und nur ein relativ kleiner Anteil zu verwenden. Die Größe der aktuellen Zielklasse ändert sich im Verlauf der gesamten Modellaufstellung absolut, weil die primäre Datenbasis die ungleichen Größen der „anderen“ Klassen wie in der Realität wiedergibt.

Aktualisierung

Sobald neuere, modellgeeignete Kartierungen digitalisiert sind, können sie zum Aufbau der ideellen Datenbasis verwendet werden. Es muss allerdings nur die Klassenkombination hinzugefügt werden, die im ideellen Datensatz aktuell fehlt. Die anderen Sets können unverändert bleiben. Wenn sie aber verändert würden, könnte das zu abweichenden Modellierungsergebnissen führen: Die Modellierung einer Klasse K kann in Zielraum Z2 zum Zeitpunkt T2 von einer früheren Modellierung im Zielraum Z1 abweichen. Wenn das nicht akzeptiert wird, darf nur einmal ein klassenspezifisches Modell aufgestellt werden, was nicht mehr verändert wird. Es darf bezüglich seiner Datenbasis also auch nicht ergänzt werden, weil das ebenfalls eine Veränderung darstellen würde.

6.1.4 Klassenaggregation, Level der Detailliertheit und Mehrstufigkeit des Modells

Das vorzustellende Verfahren arbeitet bezogen auf den Aggregationsgrad der Standortinformation mehrstufig. Es beginnt mit „großen“ Einheiten, d.h. hoher Aggregation, also auf einem niedrigen Level der Detailliertheit. Der Grund für diese Vorgehensweise ist, dass für jede Standortkomponente, wie z.B. den Wasserhaushalt, mindestens einfache Aussagen gemacht werden sollten. Eine Gliederung einer Klasse zu detaillierteren Einheiten wird soweit wie es die ideelle Modellierungsdatenbasis erlaubt durchgeführt. Die Vielfältigkeit der Standortklassen im Zielraum hängt somit von den standörtlichen Verhältnissen im Zielraum selbst und von der Detailliertheit, die die Ausgangsdatenbasis erlaubt, ab. Innerhalb einer „größeren“ Einheit, die in einer Modellierungssituation bereits vorhanden ist, werden Klassen eines höheren Levels, d.h. einer niedrigeren Aggregationsstufe, ausgewiesen. Daraus folgt:

Ein „Zweig“ des Gesamtmodells endet theoretisch, wenn nach ideeller Datenbasis keine Untergliederung mehr möglich ist. Eine Aggregationsstufe wird nicht zwangsläufig in alle nach dem „Geländeökologischen Schätzrahmen“ möglichen Klassen des nächsthöheren Levels gegliedert, sondern nur in $n + 1$ Klassen. Dabei ist n die Anzahl, die konkret modellierbar ist. Die verbleibende Klasse (+ 1) kann einen Raum darstellen, der im Optimalfall noch in mehrere Klassen unterteilbar wäre. Da dafür aber die Grundlage fehlt, bleibt er als Restraum mit der Klasse „Andere“ unbestimmt. (Praktisch kommt dieser Fall nicht vor; es werden manche Klassen aber deshalb nicht ausgewiesen, weil sie in der ursprünglichen Datenbasis fehlen. Beispiel: BFG 25, Abschnitt 7.3.3)

Dieser Ansatz impliziert auch, dass es für einen Zielraum schließlich nahezu so viele Modelle gibt, wie ausgewiesene Zielklassen vorkommen. Für jede Zielklasse bis auf die letzten beiden einer Aggregationsstufe, die aufgrund der ideellen Datenbasis definiert (~hergeleitet, ~modelliert) werden kann, gibt es ein eigenes, spezifisches Modell. Es ist das eine Modell, was sich aus der ideellen Datenbasis ergibt.

Auf den einzelnen Standortkomponenten basiert das Schema der Abb. 33. Ein „Zweig“ ist durch die Standortkomponenten definiert (2.3.2), Substrate stellen den Sockel dar:

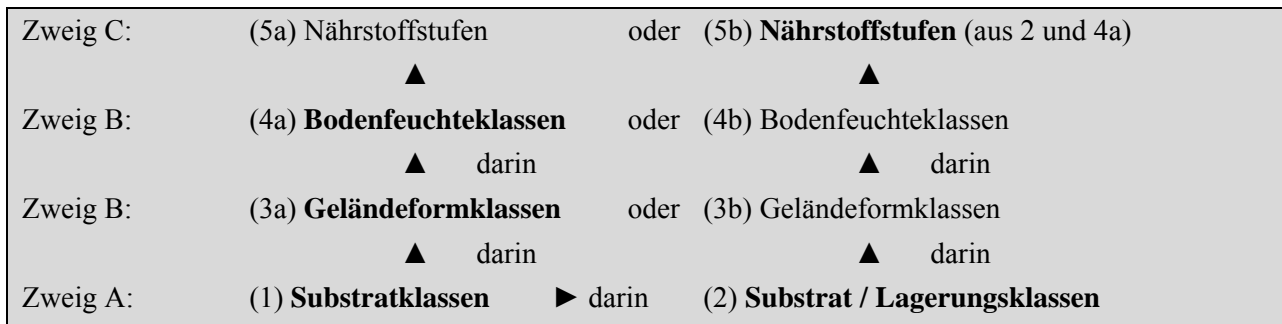


Abb. 33: Schema der Modellierung in Zweigen basierend auf Standortkomponenten.

Standortskennzahlen könnten sehr vielfältig aggregiert bzw. zerlegt werden, wie Tab. 14 anhand des Wasserhaushalts zeigt. Diese Arbeit beschränkt sich aber aus Gründen der technischen und sachlichen Durchführbarkeit auf die Aggregationsstufen und Hierarchien, wie sie in Abb. 33 gezeigt sind.

Tab. 14: Aggregationsstufen, Betrachtungslevel und Beispielwerte für die Wasserhaushaltskennzahl.

Aggregationsstufe:	GFOgru	GFO	BFGgru	BFG	BFGvargru	BFGvar
Level:	minimal	niedrig	niedrig-mittel	mittel-hoch	hoch	maximal
Kürzel	EBERUC	EBE	BFG9 BFG10	-	-	-
Bsp. – Wert:	9-10-11-26-27	9-10-11	9 u. 10	9	9f u. 9s	9f
Erläuterung:	Ebene und Rücken	nur Ebene	zwei Klassen der Ebenen	eine Klasse der Ebenen	zwei Varianten einer Klasse der Ebenen	eine Variante einer Klasse der Ebenen

gru = gruppiert, var = Variante

Ein Entscheidungsproblem tritt bei Verschachtelung der Modelle auf (Abb. 33):

- GFO könnte innerhalb SUB *oder* innerhalb SUBLAG modelliert werden.
- BFG könnte innerhalb eines GFO-Bereiches, der auf SUB basiert *oder* innerhalb eines Bereiches, der auf SUBLAG basiert, ausgewiesen werden.

Die bestmögliche Modellierung einer Zielklasse geht von der jeweils kleinsten, detailliertesten Einheit aus. Sie muss jeweils aktuell vor dem nächsten Schritt festgestellt werden. Die Modellumsetzung in Kapitel 7 nutzt den Weg, der in Fettdruck und durch die Ziffern 1, 2, 3a, 4a und 5b verdeutlicht wird.

6.1.5 Synchroner oder schrittweise Modellierung einzelner Zielklassen einer Aggregationsstufe

Wegen der spezifischen Kriterien bzw. Variablen, die einer bestimmten Klasse mutmasslich zugrundeliegen, ist es schwerlich möglich, Klassen einer Aggregationsstufe zugleich (~synchron) erfolgreich zu modellieren. Tests im Vorfeld und auch Tests als Alternative zu den schließlich aufgestellten Modellen zeigten dies. Daraus folgt im Umkehrschluß: Das Verfahren arbeitet innerhalb einer Aggregationsstufe schrittweise (~klassenweise), um adäquate Modelle hervorbringen und anwenden zu können.

Werden schrittweise immer nur zwei Klassen modelliert, wobei nur eine davon die Zielklasse im engeren Sinn ist (z.B. GFO-Klasse „Rücken“ gegenüber allen „Anderen“), so fokussieren sich das Modell und der Anwender auf die Modellierung dieser einen Klasse. Es werden die dafür jeweils am besten geeigneten Variablen herangezogen. Bei einer synchronen Modellierung muss hingegen der Kompromiß einer Zusammenstellung von Variablen und deren statistischer Wertung gefunden werden, der der Trennung aller Klassen gerecht wird.

Der Anwender, der das Modell über die Option der *a-priori*-Annahmen (6.2.5) zu Zielklassengrößen in seiner Wirkung auf Übertragungsräume steuern kann, hat die Möglichkeit, bei einzelner, schrittweiser Modellierung die Flächengröße konkret zu beeinflussen, ohne bereits Entscheidungen bezüglich der Lage der anderen Klassen zu treffen. Außerdem werden die spezifisch-geeigneten Variablen bei der Modellaufstellung deutlich und die durch ein statistisches Verfahren (6.2.3) gewählten Variablen können sogleich auf Plausibilität geprüft werden. Dies ist ein Vorteil. Der Vorteil einer synchronen Modellierung gegenüber der schrittweisen Modellierung wäre sicherlich der geringere Aufwand, der sich durch einmalige Variablenselektion, fehlende Zergliederung in Übertragungsteilgebiete und dadurch weniger zahlreiche und weniger voluminöse Datentransfers ergibt.

Da die schrittweise Modellierung auf die Weise in einem Zweig endet, wie es die ideelle Datenbasis (DB₁-2) ermöglicht und vorgibt, besteht zudem nicht die Gefahr, Zielklassen einer Aggregationsstufe auszuweisen, die nur schlecht von den anderen Klassen trennbar wären. Bei einem synchron arbeitenden Modell müßten auch die schwer modellierbaren, unsicheren Klassen von vornherein integriert sein. Das schrittweise Gesamtmodell ist in diesem Sinn flexibler, weil seine Teilmodelle nur die in einem Zielgebiet gewünschten Klassen hervorbringen.

Ein Vorteil bei der schrittweisen Modellierung von Klassen einer Aggregationsstufe ist im übrigen die Vergleichbarkeit der diskriminatorischen Gütemaße bei jeweils nur zwei zu trennenden Klassen, der eigentlichen Zielklasse und der zusammenfassenden Klasse den Restraums.

6.1.6 Reihenfolge der Modellierung einzelner Zielklassen innerhalb einer Aggregationsstufe

Wie zuvor hergeleitet, bestehen bestimmte Vorteile, die Klassen einer Aggregationsstufe in einem Zielraum nach und nach auszuweisen. Weiterhin ist entschieden worden, dass der gesamte „ideelle“ Modellierungsdatensatz für einen Großraum (wie hier z.B. Bergland) zu Anfang festgelegt wird. D.h., er ändert sich bei einem Wechsel der Zielräume (z.B. der zu kartierenden Forstämter) nicht. Diese beiden Eckpfeiler des Ansatzes bedingen aber auch die Frage, ob es eine allgemeingültige Reihenfolge der Modellierung der Klassen geben sollte. Dies wird bejaht. Der Grund dafür ist:

Wird die Modellierung im Sinn einer „Vorklassifikation“ benutzt, so ist die Güte und somit Eignung jedes Modells erst nach der Geländearbeit festzustellen. Das heisst, es ist dann überflüssig, die Güte verschiedener Reihenfolgen der Modellierung gegeneinander abzuwägen. Wird das Modell als „Klassifikation“ des Raumes ohne anschließende Kartierung benutzt, ist die Güte der Modelle ohnehin nicht nachprüfbar. Insofern kann eine bestimmte Reihenfolge im Verfahren von vornherein festgelegt werden, wenn sie sachlich begründbar ist. Entscheidungskriterien können dabei sein:

- 1 Die anzustrebende Zielklassengröße. Wenn zu Anfang die größte Zielklasse modelliert wird, hat das den Vorteil, in den folgenden Schritten deutlich kleinere Datenmengen bearbeiten zu müssen. Die Entscheidung wäre also EDV-technisch bedingt.
- 2 Die Sicherheit eines Modellierungsschrittes. Dabei sind zwei Varianten denkbar. Es könnte mit der Klasse, die jeweils am sichersten oder mit der, die am unsichersten von den Restklassen (~Restraum) trennbar ist, begonnen werden. Die Entscheidung wäre also standörtlich-modelltechnisch bedingt.

Zu dem zweiten Kriterium ist zu ergänzen, dass es keinen überzeugenden Grund gibt, mit der unsichersten Klassenausweisung zu beginnen. Allenfalls ist im ersten Schritt der gesamte Zielraum noch frei belegbar. Deshalb wäre für den Anwender noch zu steuern, in welcher Ausdehnung und somit indirekt auch an welchen Orten die unsicherste Zielklasse auftreten soll. Wird aber die Trennung der

beiden unsichersten Klassen zum Schluß vollzogen, so belegen sie zwangsläufig den Raum, der nicht von den anderen zuvor belegt worden ist. Dies ist gewissermaßen eine „passive“ Modellierung der unsichersten Klasse. Dabei ergibt sich umgekehrt eine „aktive“ Modellierung der jeweils am sichersten modellierbaren Klasse. Dieses Vorgehen wird favorisiert. Wenn nämlich mit der sichersten Modellierung (bzw. Klasse) begonnen wird, ist auch der Restraum relativ sicher auszuweisen und nicht nur die Zielklasse selbst. Dies hat einen Vorteil: Man kann für den Restraum dann davon ausgehen, dass tatsächlich nur die Klassen vorkommen, die zuvor noch nicht explizit ausgewiesen wurden.

Bei der Herleitung des Modellierungsverlaufs kann wechseln, welches die Ausweisung der sichersten und unsichersten Klasse ist. Der Grund ist das ständige Schrumpfen des Spektrums der Klassen, die die Restklasse ausmachen. Den Verlauf zeigt Tab. 15.

Tab. 15: Verlauf der Festlegung der klassenbezogenen Sicherheit eines Modellierungsschrittes.

Schritt	sicherste Modellierung der Klasse	unsicherste Modellierung ...	daher Klassen im Restraum	Anmerkung
1	A	B	C	D	E	B C D E	
2	C	B	E		D	B E D	
3	D	E			B	E B	
4	E				B	B	B verbleibt zwangsläufig

Dem vorgenannten standörtlich-modelltechnischen Kriterium wird gegenüber dem EDV-technischen Kriterium der Vorrang gegeben, da Modellqualität wichtiger als Modellierungsgeschwindigkeit ist.

Zur Herleitung der Reihenfolge müssen alle Klassen etwa flächengleich im selben Set vorliegen. Dieses Set wird DB_I-1 genannt, da es demjenigen vorgeschaltet ist, das schließlich bei Modellanwendung zur wiederholten Berechnung der Trennfunktion und der Klassentrennung dient (DB_I-2).

Es hat sich im Verlauf der vorgestellten Argumentation eine „Dreiphasigkeit“ der Modellierung ergeben:

Phase I: Feststellung der Klassentrennbarkeit, dabei Feststellung der Trennreihenfolge anhand von DB_I-1

Phase II: Formulierung der einzelnen Trennfunktionen für Klasse K_i gegen K_{Rest} anhand DB_I-2

Phase III: Anwendung der einzelnen Trennfunktionen je nach aktuell angestrebten Klassenvorkommen

Zur Reihenfolge der Klassenausweisung beim Fehlen vorrangiger Klassen

Ist in einem Zielraum beispielsweise die Substratklasse „Festgestein“ modelliert worden und sollen darin GFO-Klassen ausgewiesen werden, so kann der Fall auftreten, dass die gemeinhin zuerst zu modellierende Klasse „Rücken“ (2.3.2.2) in diesem Zielraum nicht vorkommen soll. Der Anwender kann darauf anhand des Höhenlinienbildes geschlossen haben. In solchen Fällen ist so zu verfahren, als wäre die fehlende vorrangige Zielklasse bereits modelliert, d.h., die Zielklasse des zweiten Schrittes (hier „Ebene“) tritt an erste Stelle. Dies ist gerechtfertigt, weil der erste Zielraum reliefbezogen so ausgestattet ist wie der Restraum nach Ausweisung der ersten Klasse: Die Klasse „Rücken“ ist in beiden Fällen nicht anzunehmen und deshalb nicht zu modellieren.

6.1.7 Probleme des schrittweisen, mehrstufigen, verschachtelten Verfahrens

Existenz von übergeordneten Klassen ohne Vorhandensein von untergeordneten Klassen

Eine Frage ist, ob von dem Vorhandensein einer bestimmten GFO-Klasse G ausgegangen werden kann, wenn in einem aktuellen Bereich (z.B. Substrat S) nur eine von mehreren geforderten Klassen des nächsthöheren Klassenlevels BFG vorkommt. Ein Beispiel enthält Tab. 16:

Tab. 16: Bodenfeuchtigkeitsklasse 9, 10 und 11 innerhalb Substrat 3, Löss.
(Bramwald, Gittelde, ohne Harzrand und Südostsolling)

Standortkomponente	Flächen	ha
Substrat 3	160	1190
darin BFG 9	40	170
BFG 10	0	0
BFG 11	0	0

Die Tabelle zeigt das Fehlen der „trockeneren“ Ebenen 10 und 11 innerhalb Substrat 3 im Bergland. Kommt aber allgemein die GFO-Klasse 911 (Ebenen) im Bereich von Substrat 3 im Bergland vor? Wenn man annimmt, dass die GFO-Klasse 911 aus sehr „verschiedenen“ BFG-Einzelklassen 9, 10 und 11 aufgebaut ist, so müssten alle drei BFG-Klassen vorhanden sein, um von der Existenz der GFO-Klasse 911 sprechen zu können. Wenn hingegen angenommen wird, die Klassen 9, 10 und 11 seien nur mäßig „verschieden“, denn sie stellen allesamt „Ebenen“ dar, kann behauptet werden, dass allein die Klasse BFG 9 bereits für GFO 911 repräsentativ ist. In diesem Sinn wurde in der vorliegenden Arbeit verfahren. Dies könnte als modellinterner Widerspruch bezeichnet werden, denn es wird ebenso davon ausgegangen, dass die Beispielklassen 9, 10 und 11 auf dem Level BFG voneinander trennbar sind. Dass aber bei dem angestrebten, verschachtelten Vorgehen von großen zu kleineren Einheiten (Abb. 33) und der Abhängigkeit der Wasserhaushaltswerte vom Substrat zuweilen unvollständige GFO-Einheiten in der Datenbasis vorliegen, mußte zu Gunsten der vorgeschalteten Modellierung von GFO-Klassen in Kauf genommen werden.

Ersatzmodelle

Um jede mögliche Klasse in die „ideelle“ Datenbasis aufnehmen zu können, müßte die vorgeschaltete, primäre Datenbasis jede Klasse enthalten. Für Zielräume im Bergland, d.h. nicht im Solling oder Harz, müßte die ideelle Datenbasis selbstredend aus bereits kartierten Bereichen des Berglandes zusammengestellt werden. Es ist anzunehmen, dass die meisten potenziellen Modellierungsdaten aus Solling oder Harz aus Gründen der geologischen und klimatischen Andersartigkeit nicht für das Bergland geeignet sind.

In der Konsequenz müssen also alle möglichen Zielklassen z.B. der Standortkomponente „Bodenfeuchtigkeit und Geländeform“ (BFG, 29 Klassen) in verfügbaren Bergland-Kartierungen im ausreichenden Maß vorkommen. Soweit die GFO-Modellierung unabhängig von den Substraten wäre und die BFG-Modellierung unabhängig von den GFO-Klassen gäbe es kein Problem, eine solche ideelle Datenbasis aufzubauen: Die bereits digitalisierten Standortstypenkarten enthalten ausreichend Daten dafür. Sollen aber Abhängigkeiten zwischen Standortkomponenten (Verschachtelung Substrat → GFO → BFG) berücksichtigt werden, ist die Ausgangsdatenbasis in einer Modellsituation wegen der Zerstückelung der Gesamtdatenbasis klassenspezifisch viel geringer und damit nicht immer ausreichend.

Zwei Ersatzmöglichkeiten erscheinen denkbar:

- a Modelle aus dem Harz oder Solling basierend auf gleichen vorgeschalteten Klassen einzusetzen
- b Modelle aus dem Bergland basierend auf ähnlichen Klassen gleicher Aggregation einzusetzen

Möglichkeit b steht im Widerspruch zu dem übergeordneten Gedanken, separate Modelle in bestimmten zuvor modellierten Klassen herzuleiten und sollte deshalb nur in gut begründeten Ausnahmen herangezogen werden.

Möglichkeit a hingegen wird in manchen Fällen in Kapitel 7 benutzt oder zumindest getestet.

6.1.8 Zusammenfassung zur Chronologie und zum Konzept des Vorgehens

Abschließend werden die Begriffe „mehrphasig“, „schrittweise“ und „mehrstufig / verschachtelt“ gegenübergestellt:

1 Mehrphasig:

- I Feststellung der Klassentrennbarkeit und der Reihenfolge der Trennung,
- II Formulierung der einzelnen Trennfunktionen,
- III Anwendung der Trennfunktionen

2 Schrittweise anstatt einer synchronen Modellierung der einzelnen Klassen einer Aggregationsstufe

3 Schrittweise Auswahl der geeigneten Variablen in jeder einzelnen Modellierungssituation

4 Mehrstufiges, verschachteltes Vorgehen von hoher zu geringer Aggregation (SUB→SUBLAG, GFO→BFG)

Sobald es in Verlauf eines Zweiges (Abb. 33) zu einem ungenügenden Ergebnis kommt oder wenn Besonderheiten auftreten, wird der Ablauf durch eine „Alternative“, die zu dem prinzipiellen Ansatz konform ist, ergänzt. Ein „Zusatzmodul“ hingegen dient zur Lösung des Problems auf einem methodisch abweichenden, z.B. regelbasierten statt statistischen Weg. In einem „Exkurs“ werden besondere Sachverhalte und Randerscheinungen der Modellierung erläutert. Diese Bausteine werden chronologisch in der Reihenfolge, in der sie notwendig werden, in den Modellierungsgang eingesetzt.

6.2 Statistischer Ansatz – Diskriminanzanalyse

6.2.1 Prinzip, Voraussetzungen und Auswahl des Verfahrens

Die Diskriminanzanalyse (DA) ist eine Verfahrensweise, die über viele Disziplinen verbreitet ist und nicht nur dazu dient, geowissenschaftliche Fragen zu beantworten. Charakteristisch ist das Prinzip, als unabhängige Variablen i.d.R. metrisch skalierte Variablen zu nutzen und dem gegenüber als Zielgröße kategoriale, abhängige Variablen (Gruppen, Klassen) betrachten zu wollen. Die DA gehört zu den strukturprüfenden Verfahren (BACKHAUS et al. 1989:XIII), die Überprüfung von Zusammenhängen zwischen Variablen sei das primäre Ziel und der Anwender habe bereits auf sachlogischen Überlegungen basierende Vorstellungen. Somit bestehe eine Verwandtschaft zur Regressions- und Varianzanalyse. Dem gegenüber stehen z.B. die Cluster- und Faktorenanalyse, die dazu dienen, Strukturen „zu entdecken“.

Das GIS stellt eine Form einer Diskriminanzanalyse bereit, sofern man die *maximum-likelihood*-Methode (kurz *ml*) zu den diskriminanzanalytischen Verfahren stellt (KUNDERT 1988:24). Die Methode beruht auf Folgendem: „Die Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zu einer Klasse läßt sich aus der Dichtefunktion der Normalverteilung herleiten, ...“ (S. 36). Dies ist allerdings kein eigenständiges Verfahren, sondern nur die Formulierung und Anwendung eines bestimmten Entscheidungskriteriums. Hierbei macht man sich die Verteilung der Klassen im Merkmalsraum, eine Dichtefunktion, zu nutze. Ein integrativeres und damit besseres Vorgehen ist, einen Diskriminanzraum anstatt eines Merkmalraums zu analysieren. Die Achsen des Diskriminanzraumes werden durch Linearkombinationen der verwendeten Variablen definiert. Andere Diskriminanzverfahren als die *ml* bietet das GIS z.Z. nicht, was bereits den Wechsel zu einer anderen Software bedingt. Ein weiterer Grund für den Wechsel ist das Fehlen einer automatisierten Variablenwahl. Beide Anforderungen erfüllt das Programm SAS[®] in Form der Prozeduren *stepdisc* und *discrim*. Dabei wird zuerst eine Diskriminanzfunktion im Zuge einer Variablenwahl formuliert und dann die Funktion auf andere Datensätze übertragen.

Eine Übersicht von vier nach Wertespektrum und Verteilung möglichen Verfahren geben KÜTING & WEBER (1994:348) indem sie auf „verteilungsabhängige oder parametrische Verfahren mit den Unterformen der linearen und der quadratischen DA“ einerseits und auf „verteilungsfreie oder nicht-parametrische“ multivariate DA - Verfahren verweisen. „Lineare Diskriminanzanalyse bedeutet, dass die verwendeten -und entsprechend ihrer statistischen Bedeutung gewichteten- Kennzahlen lediglich additiv oder subtraktiv, also linear zu einer Gesamtkennzahl, dem Diskriminanzwert, verbunden werden.“ BACKHAUS et al. (1989:163) sagen, das Grundprinzip sei, „eine Mehrzahl von Variablen bei minimalem Informationsverlust durch eine Linearkombination zu einer einzigen Variable“ zusammenzufassen.

Zum Zweck und der Einsatzmöglichkeit der DA meinen BAHRENBERG et al. (1992:317), die DA könne „zur Analyse und Erklärung von Gruppenunterschieden herangezogen werden“. Weitere Fragen sind:

„In welche Gruppe ist ein Objekt, dessen Gruppenzugehörigkeit nicht bekannt ist, aufgrund seiner Merkmalsausprägungen einzuordnen?“ (BACKHAUS et al. 1989:162). „Ist die vorliegende Gruppierung die bestmögliche oder ist sie verbesserungswürdig?“ (BAHRENBERG et al. S. 316). „Wie kann optimal entschieden werden, zu welcher der g Stichproben eine Einheit vermutlich gehört, deren Merkmalsausprägungen bekannt sind?“ (MARINELL 1977:51).

Die Prozedur *stepdisc* basiert auf einer parametrischen, linearen Diskriminanzanalyse. Dieser liegt Normalverteilung und eine gemeinsame Kovarianzmatrix zugrunde (6.2.2). Andere statistische Verfahren sind wegen der nicht immer gegebenen Normalverteilung der erklärenden Variablen innerhalb der zu modellierenden Klassen in Betracht zu ziehen. „*When a parametric classification criterion (linear or quadratic discriminant function) is derived from a non-normal population, the resulting error rate estimates may be biased.*“ (SAS 1987:40). Für solche Fälle wird die logistische Regression empfohlen. Allerdings würde die DA gegenüber der logistischen Regression in den Fällen effizienter sein, in denen Normalverteilung vorliegt. Zur Robustheit des Verfahrens bezogen auf die Datenbasis ergänzen sich BAHRENBURG et al. (1992:340), KLECKA (1980:61) und KÜTING & WEBER (S. 348). Letztere konstatieren bessere Trennergebnisse des linearen Ansatzes gegenüber der quadratischen DA auch bei Verletzung der Normalverteilungs- und Homogenitätsannahme, während der erstgenannte von „zufriedenstellenden Ergebnissen“ spricht. Ebenso äußern sich FAHRMEIR & HAMERLE (1984:370): „... oder die quadratische DA mit metrischen Merkmalen, sind ... wesentlich weniger robust als lineare Diskriminanzverfahren.“ Kritik an der DA in Bezug auf Voraussetzungen der Anwendung üben allerdings TURNER et al. (1991:42). Es wurde trotzdem entschieden, die lineare DA zu nutzen. Denn die quadratische DA ergab testweise sehr gute Ergebnisse bei Reklassifikation der Parametrisierungsdaten, aber sehr schlechte Ergebnisse bei Modellübertragung auf andere Datensätze.

Ein Test auf Signifikanz der Funktionen ist dann wichtig, wenn die Datensätze klein sind. Falls die Daten bei großem Datenvolumen die Ansprüche auf Normalverteilung und Streuung verletzen, können Signifikanztests vernachlässigt werden (KLECKA 1980:62). Werden einige hundert oder gar tausende von Datensätzen je Klasse herangezogen, wird Signifikanz ohnehin fast immer erreicht, wie sich in Programmtestläufen herausstellte. Diese Signifikanz darf aber nicht überbewertet werden, da eine zufriedenstellende Modellgüte nicht unbedingt damit einhergeht.

Klassen können nicht nur im „Merkmalsraum“ anhand der Verteilung der Merkmalswerte getrennt werden. Es ist stattdessen eine Trennung der Klassen im „Diskriminanzraum“ zu erreichen, wobei der Diskriminanzraum nicht von den Merkmalen loszulösen ist. Eine Linearkombination von Ausgangsmerkmalen ist notwendig. Dabei können die beteiligten Variablen gewissermaßen „gleichzeitig“ betrachtet werden (ERB 1990:11). Variablen, die univariat betrachtet keinen signifikanten Mittelwertsunterschied zwischen Klassen aufweisen, können in einer DA doch sinnvoll zu verwenden sein. Eine solche Variable kann mehrdimensional betrachtet, also in Kombination mit anderen Variablen, zur Trennung beitragen (FLURY & RIEDWYL 1983:91, ERB 1990:11).

Das Prinzip der Trennung ist für den Zwei-Gruppen-Zwei-Variablen-Fall bei ERB (S. 11-20) dargestellt. Sind die beiden Merkmale X_1 und X_2 gegeben, so liegt eine **Diskriminanzachse** zur Trennung der Klassen A und B günstig, wenn sich die auf die im rechten Winkel zur „Trenngerade“ eingezeichnete Achse (Y) projizierten Verteilungen der Klassen A und B möglichst wenig überlappen. Die Achse ist die Linie, auf der Distanzen zwischen projizierten Merkmalswerten und Gruppenzentroiden abgegriffen werden können. Zentroide stellen den mittleren Wert des Merkmals in einer Klasse dar.

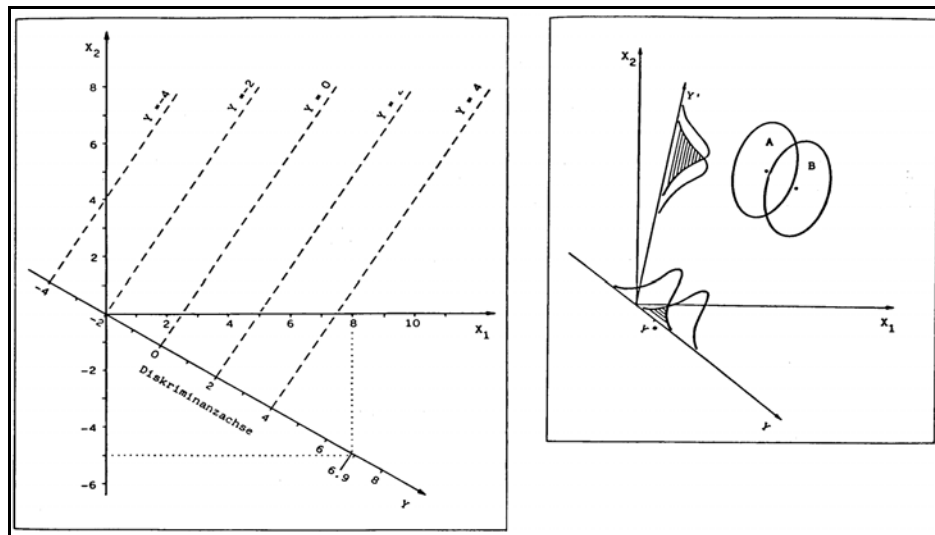


Abb. 34: Konstruktion einer Diskriminanzachse für eine Diskriminanzfunktion.
 $Y = -2 + 0,8X_1 - 0,5X_2$ (links). Verteilung von zwei Gruppen (Klassen) und ihre Projektion auf zwei Diskriminanzachsen (rechts). Aus: BACKHAUS et al. 1989:173 und 175, verändert. Gestrichelt = Isoquanten.

Isoquanten verlaufen parallel zu der zuvor erwähnten „Trenngeraden“. Sie sind der geometrische Ort, an dem das Einsetzen von beliebigen Merkmalswerten X_1 und X_2 in die Funktion einen bestimmten, festen Wert Y hervorbringt. Sie sind ein graphisches Mittel, um die Distanzen zwischen X_1 - und X_2 -Werten und Gruppenzentroiden visualisieren zu können. Ebendiese Distanzen sind bei der eigentlichen Klassifizierung bedeutend, sofern ohne *a-priori*-Wahrscheinlichkeiten gearbeitet wird (vgl. 6.2.5).

Die **Diskriminanzkoeffizienten** stellen die Gewichtung der Merkmale in Hinblick auf die Trennung von Klassen dar (KÜTING & WEBER 1994:349). Koeffizienten werden so gewählt, dass „die Summe der Abweichungsquadrate zwischen den Stichproben im Verhältnis zur Summe der Abweichungsquadrate innerhalb der Stichproben möglichst groß ist“ (MARINELL 1977:55) oder wie bei BACKHAUS et al. (S. 171) ausgedrückt: „Wähle die Koeffizienten so, dass ... der Quotient ‘Streuung zwischen den Gruppen / Streuung in den Gruppen’ maximal wird.“ „Die zur Kombination der Merkmalsvariablen verwendete Funktion heisst **Diskriminanzfunktion** (Trennfunktion). Sie hat allgemein die Form:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_JX_J \quad (1)$$

mit Y = Diskriminanzvariable

X_j = Merkmalsvariable j ($j=1, 2, \dots, J$)

b_j = Diskriminanzkoeffizient für Merkmalsvariable j

b_0 = Konstantes Glied“ (BACKHAUS et al. S. 164)

„Die Diskriminanzfunktion läßt sich geometrisch als eine Gerade darstellen, die als Diskriminanzachse bezeichnet wird.“ (Abb. 34). Die maximale Anzahl der unkorrelierten, d.h. rechtwinkelig zueinander stehenden Funktionen, die überhaupt verwendet werden, um in einem multivariaten Merkmalsraum mehr als zwei Klassen zu „diskriminieren“, ist durch die Anzahl dieser Merkmale und / oder Klassen gegeben. Sie kann nicht größer sein als die Zahl der zur Verfügung stehenden Variablen J und nicht größer als die Klassenanzahl $G - 1$. So gilt (BACKHAUS et al. S. 180):

$$\text{Maximale Anzahl der Funktionen} = \text{Min}\{G - 1, J\} \quad (2)$$

Oftmals genügen wenige Funktionen anstatt aller theoretisch möglichen, um Gruppen zu trennen, wie Versuche gezeigt haben (BAHRENBERG et al. S. 330). SAS bestimmt aber alle möglichen Funktionen; in der vorliegenden Arbeit ist es oft nur eine Funktion, weil meistens nur zwei Klassen getrennt werden.

Der **Diskriminanzwert** resultiert aus der Diskriminanzfunktion und basiert somit auf den Merkmalswerten und deren Gewichtung durch den Koeffizienten zuzüglich einer Konstanten. Nach ihm wird die Zuordnung in Klassen getroffen. Bei beispielsweise zwei verwendeten Merkmalsvariablen X_1 und X_2 ergibt sich durch Einsetzen in die Diskriminanzfunktion ein D-Wert, der bei graphischer Übertragung in die Werteskala der Isoquanten auf der D-Achse eingezeichnet wird (Abb. 34). Dort wird die Distanz zwischen den projizierten Punkten und den Zentroiden genutzt, um die Klassifizierung eines Objektes nach kürzester Distanz zu vollziehen (BACKHAUS et al. S. 189).

6.2.2 Kovarianz, Distanzkonzept und Gütemaße

Kovarianz:

Die Merkmalswerte einer Variablen (z.B. Neigung) variieren innerhalb einer standörtlichen Klasse (z.B. Hang) um den Mittelwert. Innerhalb dieser Klasse variieren auch die Werte anderer Variablen, wie z.B. die Werte der Wölbung. Die mittlere Summe der Produkte der Abweichungen beider Variablen innerhalb einer Klasse von ihrem jeweiligen Klassenmittelwert ist die Kovarianz. Werden die Kovarianzen der Variablen in ein quadratisches Schema eingetragen, so erhält man die Kovarianzmatrix. Sie ist oft klassenspezifisch. Wenn man aber davon ausgeht, dass die Kovarianzen der Variablen in allen Klassen (Hang, Rücken, ...) gleich sind, können „gemeinsame“ Kovarianzen bzw. eine „gemeinsame“ Kovarianzmatrix erstellt werden. Die Kovarianz wird dabei mit Probanden aller Klassen erstellt. Eine solche zugrundegelegte gemeinsame bzw. „gepoolte“ Kovarianzmatrix hat den Vorteil, dass zur Trennung von Klassen eine Gerade (Isoquante in Abb. 34) im rechten Winkel zur Diskriminanzachse anstatt eine gekrümmten Linie angenommen werden kann. Dies vereinfacht die DA erheblich.

Distanzkonzept:

Eine Diskriminanzfunktion wird nun so gebildet, dass das Diskriminanzkriterium maximal wird (BAHRENBERG et al. S. 335, ERB S. 32). Ein hoher Wert des Kriteriums tritt auf, wenn Gruppen weit auseinander liegen und einzelne Gruppen dabei kompakt sind. Streuung zwischen den Gruppen wird „erklärte“, diejenige in den Gruppen „nicht erklärte“ Streuung genannt. Distanzen zwischen den Fällen (Probanden) und den Zentroiden bzw. die Distanzen zwischen den Klassen werden durch Addition quadrierter Abstände ausgedrückt (BACKHAUS et al. 1989:184):

$$\begin{array}{ll} SS_b = \textit{sum of squares between groups} & = \textit{Streuung zwischen den Gruppen} \\ SS_w = \textit{sum of squares within groups} & = \textit{Streuung in den Gruppen und} \\ SS_b + SS_w & = \textit{Gesamtstreuung} \end{array}$$

Dabei ist die Unterscheidung nach sog. Euklidischer Distanz und Mahalanobis-Distanz zu treffen. Letztere ist als Grundlage der Trennung notwendig, wenn nicht nur einfache Distanzen der Zentroide und einfache Distanzen der Probanden zu den Zentroiden, sondern auch die Verteilung der Daten im Merkmalsraum berücksichtigt werden soll, also die Ausformung einer „Punktwolke“ im Koordinatensystem. Die Verteilung der Werte kann graphisch in Form von Ellipsen verdeutlicht werden (Abb. 34). Würde man einfache Distanzen zugrunde legen, so könnte ein Proband bildlich gesprochen

einer Klasse zugeordnet werden, deren Ellipse er nicht berührt. Deshalb wird als Diskriminanzkriterium zuerst die Distanz nach Mahalanobis maximiert, eine Diskriminanzachse liegt dementsprechend. Am Rand einer Ellipse sind alle Mahalanobisdistanzen zum Zentroid gleich, bei euklidischen Distanzen nicht. Ist die Funktion und somit die Achse nach Mahalanobis-Distanzen berechnet, so ist auch gleichzeitig die Distanz im Diskriminanzraum bekannt, nach der letztendlich klassifiziert wird: „Die Klassifizierung der Elemente nach euklidischen Distanzen im Diskriminanzraum entspricht der Klassifizierung nach Mahalanobis-Distanzen im Merkmalsraum“ (BAHRENBERG et al. S. 338). Nach BURROUGH (1986:141) hat die Mahalanobis-Distanz den Vorteil, dass sie Korrelationen der Variablen berücksichtigt. Die Korrelation erschließt sich durch die Form einer Punktwolke der Probanden.

Gütemaße: Wilks' Lambda, ASCC und Reklassifikation

Die Gütemaße Wilks' Lambda (L oder Λ) und ASCC („*averaged squared canonical correlation*“) und die *error rates* bei Reklassifikation der Parametrisierungsdaten und bei Klassifikation der Validierungsdaten werden in Kapitel 7 zur Modellwertung benutzt. Sie sind aber nicht in allen Situationen vergleichbar bzw. aussagekräftig:

Gütemaße sind nur dann aussagekräftig, wenn es sich um eine wirklich repräsentative Stichprobe handelt. In der vorliegenden Arbeit wird allenfalls eine geklumppte „Stichprobe“ der Standorte im Niedersächsischen Bergland verwendet. Dies ist dadurch begründet, dass von dem Gesamtraum „Bergland“ nur einige Flächen aktuell standortkartiert digital vorliegen; diese Flächen liegen aber gewissermaßen „geklumpt“ im Raum. Klumpung ist durch die Aufnahme von Revieren bzw. Forstämtern bedingt. Eine wirkliche Stichprobe bestände aus etwa gleichmäßig über das Bergland gestreuten Standortaufnahmen (Punkten, ~ Zellen) (vgl. BAHRENBERG et al. 1985:20). Deswegen ist die Bewertung eines Modells über Gütemaße im vorliegenden Fall nur ein Hinweis auf Modellqualität, der zu Vergleichen von Modellvarianten, z.B. auf Grundlage unterschiedlicher Variablen, geeignet ist. Sie werden auch benutzt, um zu klären, ob sich bestimmte Klassen mit den verfügbaren Variablen überhaupt akzeptabel trennen lassen.

Die klassenübergreifende, ausgemittelte Reklassifikationsgüte der Parametrisierungsdaten (*hit rate*, *error rate*, ~ Trefferquote, Fehlquote), die von SAS bereitgestellt wird, korrespondiert nicht immer mit den Gütemaßen. Denn sie sind nur in dem „Sonderfall“ von nur zwei zu trennenden Klassen proportional zur Reklassifikationsgüte und auch nur dann, wenn die vorgegebenen Klassengrößen reproduziert werden. Zumindest in einer Hinsicht ist der Sonderfall in dieser Arbeit der Normalfall: Meistens werden nur zwei Klassen getrennt, nämlich eine eigentliche Zielklasse von einer zusammengesetzten Klasse (6.1.5).

Hit rates für den Parametrisierungsdatensatz sagen also wegen des fehlenden Charakters einer berglandrepräsentativen Stichprobe wenig über die Güte einer Modellübertragung aus. Deshalb wird eine Übertragung auf ein Validierungsgebiet durchgeführt (1.2.2). Zumindest kann anhand dieser *hit rate* geschlossen werden, ob ein Modell im Übertragungsfall auf einen unbekanntem Raum zu ausreichenden Ergebnissen führen könnte. Ein erfolgreicher Test ist aber keine Garantie für allgemeine Übertragbarkeit.

Wilks' Lambda wird auch „*likelihood ratio statistic*“ genannt (SAS 1987:917). Es sei das wohl am häufigsten benutzte Kriterium bei einer multivariaten Analyse der Varianzen zwischen Gruppen (HUBERTY 1994:182f). KLECKA (1980:54) stellt heraus, dass hierbei Unterschiede zwischen den Gruppen und die Ballung der Fälle (*cohesiveness*) in den Gruppen beachtet werden. Das „multivariate Wilks'

Lambda“ wird zur Prüfung der Unterschiedlichkeit mehrerer Gruppen herangezogen (BACKHAUS et al. 1989:186). Im Gegensatz dazu steht das univariate Lambda, bei dem der gesamte Diskriminationsvorgang nur auf einer Diskriminanzfunktion beruht (BAHRENBERG et al. S. 336):

$$L_k = 1 / (1 + \gamma_k) = \text{nicht erklärte Streuung} / \text{Gesamtstreuung} \quad (3)$$

mit γ_k = Eigenwert der Funktion

$$\gamma = SS_b / SS_w = \text{erklärte Streuung} / \text{nicht erklärte Streuung} = \text{Eigenwert} \quad (4)$$

Der sog. Eigenwert γ ist hoch, wenn die „Trennkraft“ der Funktion bezogen auf die Klassen hoch ist. Eigenwerte hängen von der Trennkraft einer Funktion ab, die wiederum von der (Mahalanobis-)Distanz im Merkmalsraum und somit der Distanz im Diskriminanzraum abhängt. Wilks' Lambda L ist ein inverses Gütemaß, normiert auf 0 bis 1. Im Zwei-Gruppen Fall kann maximal eine Diskriminanzfunktion definiert werden; es handelt sich um ein univariates Wilks' Lambda. Dies ist nicht mit dem multivariaten L vergleichbar, da das auf einer Multiplikation der univariaten L beruht:

$$L = \prod 1 / (1 + \gamma_k) \quad \text{BACKHAUS et al. (S. 186)} \quad (5)$$

mit γ_k = Eigenwert der jeweiligen Diskriminanzfunktion Y_k

Bei der Multiplikation zweier etwa „gleich guter“ univariater Lambda, deren Werte zwischen 0 und 1 liegen müssen, wird der Ergebniswert deutlich kleiner (Bsp.: $0.45 * 0.50 = 0.225$). Der Wert suggeriert eine viel bessere Trennbarkeit der Klassen. Deshalb ist bei der Beurteilung von L auf die Funktionsanzahl zu achten. Dagegen wird bei der *averaged squared canonical correlation*, ASCC, (SAS 1987:17 und 917f) der Einfluß der Funktionsanzahl berücksichtigt ($\gamma_k \sim \lambda_i$):

$$V = \sum \lambda_i / (1 + \lambda_i) = \sum \text{Erklärte Streuung} / \text{Gesamtstreuung} \quad (6)$$

$$ASCC = V / (G - 1) \quad (7)$$

Es wird die Summe V durch die „Anzahl der Gruppen - 1“ ($G - 1$) dividiert. Diese Anzahl ist meist gleich der Funktionsanzahl, jedenfalls dann, wenn Gruppenanzahl \leq Merkmalsanzahl ist. Denn für die maximale Anzahl der Funktionen galt nach (2): *Maximale Anzahl* = $\text{Min}\{G - 1, J\}$. Sollte es aber weniger Merkmale J als „Gruppen - 1“ geben, so ist ebenfalls die Division durch $G - 1$ gerechtfertigt, denn die Güte des Gesamtdiskriminanzvorgangs muss ausgedrückt werden, indem man die addierte Güte aller Einzelfunktionen zu der Gruppenanzahl in Relation setzt; diese Gruppen sollen schließlich diskriminiert werden. ASCC wird also klein, wenn viele Gruppen nur mit Hilfe von wenigen Variablen und somit wenigen Funktionen diskriminiert werden.

Das univariate Wilks' Lambda und ASCC addieren sich im Zwei-Gruppen-Fall zu 1, da es dann nur eine Funktion bzw. einen Eigenwert geben kann. Im Beispiel ergeben sich mit dem Eigenwert $\gamma = 1.8$:

$$L = 1 / (1 + \gamma) = 0.357 \quad (8)$$

$$ASCC = \gamma / (1 + \gamma) = 0.643 \quad (9)$$

Im Fall von drei Gruppen ergeben sich bei Eigenwerten zweier Funktionen von z.B. $\gamma_1 = 1.8$ und $\gamma_2 = 1.3$:

$$L = 1 / (1 + \gamma_1) * 1 / (1 + \gamma_2) = 0.155 \quad (10)$$

$$ASCC = (\gamma / (1 + \gamma_1) + \gamma / (1 + \gamma_2)) / G - 1 = 0.604 \quad (11)$$

Die ASCC kann Werte größer 1 erreichen, wenn mehrere hohe Werte des Quotienten $\gamma / (1 + \gamma)$ addiert werden. Dies ist allerdings in der Praxis selten, da bei der Diskrimination realer Daten kaum mehrere Funktionen hohe Eigenwerte und somit „Trennkraft“ haben. Vergleicht man die ASCC und das multivariate Wilks' Lambda so ergibt sich: L geht schneller gegen '0' als ASCC gegen '1' (~hohe Trennbarkeit). L gibt also den Anschein einer besseren Trennung der Klassen als ASCC.

Bei CONGALTON & GREEN (1999:46f) wird die Bewertung von Klassifikationen in der Satellitenbildanalyse besprochen. Die bei Reklassifikation von SAS bereitgestellte klassenspezifische *hit rate* (bzw. *error rate*) entspricht der *producer's accuracy*:

producer's accuracy: Richtig klassifizierte Zellen der Klasse k / Anzahl *kartierter* Zellen der Klasse k

hit rate: desgl.

user's accuracy: Richtig klassifizierte Zellen der Klasse k / Anzahl *modellierter* Zellen der Klasse k

Producer's accuracy und *user's accuracy* stellen den gleichen Sachverhalt also aus verschiedener Perspektive dar: Der *producer* ist der Produzent einer Karte, in der Klassen abgebildet sind, also derjenige, der das Modell aufstellt. Der *user* ist der Nutzer der Karte. Der Produzent kann für sich in Anspruch nehmen, dass x % der Referenzdaten einer Klasse in der Modellklassifikation richtig wiedergegeben werden. Der Benutzer kann aber feststellen, dass y % der Modelldaten einer Klasse mit den Verhältnissen im Gelände übereinstimmen. Da die absolute Anzahl der Referenzzellen und der modellierten Zellen nicht unbedingt gleich ist, sind die beiden *accuracies* ggf. ungleich. Das Gesamtproblem muss vor dem Hintergrund gesehen werden, dass die Summe aller Referenzzellen und die Summe aller modellierten Zellen gleich ist, die Anteile je Klasse aber unterschiedlich sind; weit ausgedehnte Modellierung einer Klasse muss zwangsläufig zu geringer Ausdehnung einer anderen Klasse führen und umgekehrt.

Die *overall accuracy* errechnet sich aus der Summe aller richtig klassifizierten Zellen / Summe der Zellen. Da die Modellaufstellung mit etwa gleich großen Klassen erfolgte (6.1.2) kann bei etwa gleich großen Klassen nach Reklassifikation auch die *overall accuracy* aussagekräftig sein. Eine aus klassenspezifischen *error rates* übergreifend gemittelte *rate*, wie sie von SAS vorgegeben wird, entspricht dem. Wenn die modellierten Klassen aber ungleich groß sind, wurde dies bei den Modellen gesondert vermerkt, weil dann die *error rate* weniger aussagekräftig ist.

Die Akzeptanz von Modellen richtet sich in dieser Arbeit also je nach zuvor beschriebenen Situationen nach Gütemaß, klassenspezifischen oder übergreifenden Reklassifikationsgütern, Klassenausdehnungen im Vergleich Modell und Vorgabe, Plausibilität der gewählten Variablen (6.2.3) und den Übertragungsergebnissen im Validierungsgebiet. Stärker verallgemeinernde Indizes wie etwa der Kappa Index (CONGALTON & GREEN 1999, RICHARDS 1993) wurden nicht verwendet, da Ergebnisse klassen- und themenbezogen, also standörtlich, beurteilt werden sollten.

Die Modellgüte im Validierungsgebiet ist wegen des verschachtelten Vorgehens in dieser Arbeit mit den genannten *accuracies* (*hit rates*) allerdings schwer zu interpretieren: Vorgeschaltete Schritte bestimmen immer auch die Güte der nachgeschalteten. Trotzdem werden diese Werte zumeist berechnet und besprochen. Weiteres dazu findet sich in Abschnitt 7.1.2.1.

6.2.3 Aufstellung des Modells, Prinzip der Variablenwahl, Bedeutung der Variablen

Bei der Variablenwahl der Prozedur *stepdisc* wird Wilks' Lambda minimiert. Es werden diejenigen Variablen aus dem Modell verbannt, die gemessen an Lambda am wenigsten zur Trennkraft beitragen (SAS 1987:910). Lambda ist klein, wenn irgendwelche zwei Klassen (*any two groups*) gut separiert werden (S. 917).

Ein multipler partieller Korrelationskoeffizient, der den Zusammenhang zwischen einer Variablen und der Zielgröße unter Berücksichtigung anderer im Modell vorhandener Variablen beschreibt, wird bei SAS zur Variablenwahl und Wertung bereitgestellt (dort R^{*2} , hier pR^2). HUBERTY (1994:232) meint mit Bezug auf die *stepdisc*-Prozedur, R^{*2} könne als *squared partial correlation* angesehen werden. Der Wert kann zur Ordnung der Variablen im Sinn ihrer relativen Beiträge zur Trennung von Gruppen dienen (S. 302). Er warnt allerdings davor, eine einfache Reihenfolge (*naive rank* bei dem *rank-ordering*) nach pR^2 vorzunehmen und empfiehlt *judgment ranks* anzusetzen (S. 233). Aus dreizehn Variablen sind z.B. nur fünf *ranks* (1, 2, 3, 4 und 9) zu bilden, wobei neun Variablen mit dem *rank* 9 belegt werden, da ihre partiellen R^2 im Verhältnis zu den anderen vier Variablen klein sind. Der Anwender sollte die Ergebnisse von statistischen Prozeduren gutachterlich und nicht streng kennzahlenabhängig beurteilen.

Drei Verfahrensoptionen sind bei der Variablenwahl möglich: *backward*, *forward* und *stepwise*.

Um die Stabilität der Verfahren zu testen und um sich für eines der Verfahren zu entscheiden, wurden Modelle zur Trennung von drei Klassen K1, K2 und K3 erstellt. Zehn Variablen AAX - JJJ wurden dafür bereitgestellt. Da es um prinzipielle Verfahrensschritte geht, wird auf inhaltliche Interpretation verzichtet; daher diese abstrakten Benennungen. Für das Eintreten (*entry*) in ein Modell und das Verbleiben (*stay*) in einem Modell wird die Schwelle pR^2_{entry} bzw. pR^2_{stay} 0.02 angesetzt, da dies erfahrungsgemäß zu einer deutlichen aber nicht übermäßigen Verringerung von Variablen führt.

Option *stepwise*: In jedem Schritt wird das Modell danach untersucht, dass die Variable, die gemessen an Lambda am wenigsten Bedeutung hat und die das Kriterium zum Verbleib verfehlt, wieder ausgegrenzt wird. Dem entgegen wird die bedeutsamste noch nicht enthaltene Variable aufgenommen. Wenn alle aufgenommenen Variablen den Schwellenwert zum Verbleib 0.02 pR^2_{stay} erreichen und keine weitere pR^2_{entry} überspringt, wird die Selektion beendet ($pR^2_{entry} \sim pR^2E$, $pR^2_{stay} \sim pR^2S$):

Step	In	Entered	Removed	pR^2E	pR^2S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	AAX		0.605	0.126	0.395	0.302		
2	2	BBX		0.132	-	0.343	0.331		
3	3	CCX		0.052	0.098	0.325	0.346		
4	4	DDX		0.059	0.082	0.306	0.374		
5	5	EEX		0.038	0.106	0.294	0.384		
6	4		BBX		(0.013)	0.298	0.382		
7	5	FFX		0.031	0.031	0.289	0.393	-	-

Sobald EEX im Modell auftritt, errechnet sich für BBX ein partielles pR^2S von nur noch 0.013, das unter 0.02 liegt; BBX wird im sechsten Schritt also wieder entfernt. Schließlich genügen fünf Variablen dem *stay*-Kriterium und keine der übrigen genügt dem *entry*-Kriterium. Daher endet das Verfahren.

Entscheidend ist der Wechsel zwischen der Berechnung und Betrachtung des partiellen R^2 für die Gruppe der bereits enthaltenen (*stay*) und der Berechnung der pR^2 für die Gruppe der noch nicht enthaltenen Variablen (*entry*). Abwechselnd werden „*statistics for removal*“ und „*statistics for entry*“ berechnet. Sobald eine Variable dazugekommen ist bzw. herausgenommen wurde, ändert sich das partielle R^2 anderer. Der Vorteil ist, dass keine im Modell bleibt, wenn für sie durch die anderen aufgenommenen ein

sehr kleiner Beitrag zur Verringerung von Lambda entstehen würde, wie in diesem Beispiel für BBX. Will man das Modell ergänzen, so muss getestet werden, wieviel die Variable leisten würde; das Modell wird gewissermaßen „von außen“ betrachtet. Sodann ist es sinnvoll, die Wertekonstellation von pR^2 des Modells „von innen“ zu betrachten und ggf. Variablen zu verbannen. Die endgültige Bedeutung der akzeptierten Variablen ergibt sich aus der Zusammenschau der partiellen R^2stay -Werte im letzten Schritt. Demnach ist AAX als die am besten geeignete Variable eingeschätzt worden, knapp gefolgt von EEX, CCX und DDX und mit mehr Abstand von FFX. Da BBX zuerst einbezogen und dann unter Einbeziehung von EEX ausgetauscht wurde, verbleiben nur fünf Variablen, was mit einem günstigen Lambda 0.289 endet.

Option forward: Anfangs wird die Variable in das Modell integriert, die gemessen an Wilks' Lambda die größte diskriminatorische Bedeutung hat. Im nächsten Schritt gelangt diejenige mit aktuell größter Bedeutung hinein. Sobald keine der noch nicht aufgenommenen das Eingangskriterium mehr erfüllt, stoppt das Verfahren. Der Schwellenwert war hier entsprechend der Auswahlmethode $pR^2entry = 0.02$.

Option backward: Bei der *backward-elimination* wird mit allen Variablen begonnen. Diejenige Variable, die im aktuellen Schritt gemessen an Wilks' Lambda am wenigsten zur diskriminatorischen Stärke des Modells beiträgt, wird eliminiert. Wenn alle verbleibenden Variablen das Schwellenwertkriterium erfüllen, endet der Programmablauf. Der Schwellenwert war hier $pR^2stay = 0.02$.

Die Auswahlverfahren führten zu recht ähnlichen Ergebnissen. Die Anzahl der akzeptierten Variablen ist entweder fünf oder sechs. Vier der insgesamt bereitgestellten zehn werden bei allen drei Optionen berücksichtigt: EEX, DDX, AAX und CCX. Die Methode *backward* hob sich etwas von den beiden anderen durch die Wahl zweier bestimmter Variablen ab. Diese beiden erschienen zwar nicht unplausibel zu sein, aber das Ergebnis, dass sowohl *forward* als auch *stepwise* eine bestimmte andere Variable akzeptieren, läßt diese Wahl vernünftig erscheinen. Die strengere Methode von den beiden letztgenannten ist *stepwise*, wobei Variablen wieder ausgetauscht werden können und hier auch ausgetauscht werden. Im Sinn einer Variablenverminderung wirkt also *stepwise* besser. Es resultiert die Entscheidung, mit der Option *stepwise* zu arbeiten. Das *stepwise*-Verfahren ist kein Garant für die beste überhaupt mögliche Variablenwahl (KLECKA 1980:53, SAS S. 911). Um sie zu finden, müßte man alle Kombinationen testen.

Es zeigte sich in Test die größte Verschlechterung der *error rate*, wenn die Variablen, die auch die höchsten pR^2stay tragen, fehlen. Umgekehrt erhöht sich die *error rate* am wenigsten, falls die Variable mit dem geringsten pR^2stay fehlt. Es wurde auch deutlich, dass die Kombination der Variablen im Sinn einer Optimierung der Diskriminanzgüte gewählt wurde und nicht nur Variablen eintreten, die separat betrachtet besonders hohe pR^2entry -Werte zeigen. Eine Variable ist offensichtlich in Kombination mit den anderen wichtig und ihr Fehlen erhöht die Fehlklassifizierung. Solch eine Variable trägt Informationen, die die anderen nicht beinhalten, was sogar zur stärksten Verschlechterung beitragen kann, obwohl die Kennzahl pR^2stay nicht die höchste ist. Bei sechs Variablen sagt der pR^2stay -Wert von z.B. Variable AAX etwas aus, was nur bei Verwendung aller sechs Variablen zusammen Gültigkeit hat. Das gleiche gilt für die anderen fünf Variablen. Weil AAX möglicherweise anders mit den vier Variablen CCX, DDX, EEX und FFX zusammenhängt als BBX und weil AAX und BBX eventuell auch ähnliche Informationen tragen, das Gesamtmodell aber auf den Interdependenzen aller sechs Variablen beruht, ist die Bedeutung von pR^2stay nicht mit letzter Sicherheit anhand der *error rates* zu erkennen. Man kann nur zeigen, dass die Relationen zwischen pR^2stay und der Fehlerrate in etwa übereinstimmen.

6.2.4 Wahrscheinlichkeitskonzept

In der vorliegenden Arbeit werden oftmals sog. *a-priori*-Annahmen in Modelle eingebaut, was zu erläutern ist. „Eine Zuordnung erfolgt nach der Bayes-Entscheidungsregel, wenn ein Objekt mit dem beobachteten Merkmalsvektor x derjenigen Klasse ... zugeordnet wird, die die größte *a-posteriori*-Wahrscheinlichkeit besitzt, ...“ (FAHRMEIR & HAMERLE 1984:304).

„Ohne Einbeziehung von *a-priori*-Wahrscheinlichkeiten ist die Klassifizierung nach Wahrscheinlichkeiten äquivalent der Klassifizierung nach Distanzen.“ (ERB 1990:56).

Wodurch wird die *a-posteriori*-Wahrscheinlichkeit bestimmt? Dazu meinen BACKHAUS et al. (S. 190), dass sie sich durch die „Verknüpfung von *a-priori* gegebenen Wahrscheinlichkeiten sowie von bedingten Wahrscheinlichkeiten, in denen die in den Merkmalsvariablen enthaltene Information zum Ausdruck kommt“ ergibt. Beide Komponenten werden vor dem Hintergrund des sog. Bayes-Theorems vereinigt. Als Spezialfall der Bayes-Entscheidungsregel gilt, wenn gleiche *a-priori*-Wahrscheinlichkeiten vorliegen (FAHRMEIR & HAMERLE, S. 305). Wenn sie gleich sind, haben sie keinen Effekt für die Berechnung der *a-posteriori*-Wahrscheinlichkeiten (BACKHAUS et al., S. 191).

Werden Probanden nur auf zwei Klassen G_1 und G_2 verteilt, so sind die *a-priori*-Annahmen, sofern nichts anderes definiert ist, je 0,5. Gibt es berechtigten Grund zu der Annahme, dass bestimmte Klassen häufiger sind als andere, findet eine ungleiche Gewichtung der bedingten Wahrscheinlichkeiten statt.

DEICHSEL & TRAMPISCH (1985, S. 84 und 92f) erläutern das Prinzip der Ungleichverteilungsannahme anhand von Dichtefunktionen, wie sie bei einer *maximum-likelihood*-Methode wirksam würde: Nimmt man eine Häufigkeit von 0,6 für eine Klasse G_1 und 0,4 für G_2 an, so ist das Verhältnis dieser beiden Klassen 1,5:1,0. Zeigen die beiden Klassen die gleiche Varianz und überlappen sich die beiden Dichtefunktionen für den betrachteten Merkmalswert, so ist der Trennpunkt mit dem Schnittpunkt der beiden Dichtefunktionen gleichzusetzen. Es ist aber der Wert $f_1(x)$ für G_1 mit dem Verhältniswert 1,5 zu multiplizieren. „Das Zuordnungsgebiet zu G_1 vergrößert sich ...“ und der Schnittpunkt der Dichtefunktionen verschiebt sich zugunsten von G_1 . Somit werden mehr Fälle G_1 zugeordnet.

6.2.5 Verfahrensoptionen und Interpretation von Klassifikationsfunktionen

Die Prozedur *stepdisc* arbeitet unter folgender Prämisse: „*The set of variables that make up each class is assumed to be multivariate normal with a common covariance matrix.*“ (SAS 1987:909). Dies hat seine Entsprechung bei den später bei der Prozedur *discrim* einzustellenden Optionen METHOD=normal (anstatt nicht-parametrisch) und zur gemeinsamen Kovarianzmatrix, POOL=yes (anstatt nur einer *within-group covariance matrix*) (SAS S. 369). POOL=yes impliziert eine lineare Diskriminanzfunktion anstatt einer quadratischen (SAS S. 360 und 383). Es handelt sich also um eine lineare Diskriminanzfunktion in Einheit mit einer „gepoolten“ Kovarianzmatrix und um ein parametrisches Verfahren im Gegensatz zu einem nicht-parametrischen, verteilungsfreien Verfahren.

Die Schwellenwerte der Variablenwahl wurden i.d.R. auf 0.02 gesetzt, sowohl für die Eingangsschwelle pR^2_{entry} als auch für die Verbleibschwelle pR^2_{stay} . Damit wurden gute Erfahrungen dahingehend gemacht, dass die Variablenanzahl in den meisten Fällen nicht besonders klein oder besonders groß wurde. Dies führt insofern zu standörtlich guten Ergebnissen, als dass die Klassenverteilung im Raum nicht zu monoton (sehr wenige Variablen) bzw. zu unruhig (sehr viele Variablen) wurde. Ausnahmen von der Schwelle 0.02 wurden erlaubt, wenn es spezifische Gründe dafür gab.

Da die Kovarianz beteiligter erklärender Variablen zwischen den Klassen entgegen der o.g. Prämisse in der Realität nicht unbedingt gleich ist, würde die gemeinsame Kovarianz durch die Kovarianz einer flächenmäßig großen Klasse mehr beeinflusst als durch die einer kleinen Klasse.

Deshalb werden bei der Prozedur *stepdisc* bei gleichen Wertespektren in einer Klasse aber unterschiedlichen Größen der Klasse zuweilen unterschiedliche Variablen zur Diskrimination ausgewählt. Die Beeinflussung durch die Klassengröße könnte im Gesamtkontext unpassend sein, weil in einem Übertragungsraum die Klassengrößenverteilung anders als im Modellierungsraum sein kann: In den Modellierungsdaten ist das Verhältnis zweier Klassen K1 und K2 z.B. 20:80, im Übertragungsraum aber 60:40. Um diesem Problem auszuweichen geschieht die Modellaufstellung (*stepdisc*) mit jeweils gleich großen Klassen, was gewissermaßen ein „Kompromißmodell“ hervorbringt. So ist die Voraussetzung gegeben, bei späterer Modellanwendung per *a-priori*-Festsetzung die Größe der Zielklasse zu bestimmen, so dass die erwünschte Klassengröße resultiert. Dies wäre bei der Modellaufstellung mit realen Proportionen widersinnig, denn in diesem Fall sollte die angenommene Zielklassengröße bereits durch die Variablenwahl und das damit verbundene Modell erreicht werden.

Zur Beeinflussung der Klassengröße dient die Option „*priors*“ (vgl. 6.2.4). Klasse K1 wird zum Beispiel dann gegenüber der Klasse K2 gefördert, wenn die Einstellungen *priors* $K1 = '0.7'$ $K2 = '0.3'$ lauten. Dies führt allerdings nicht zu einer Verteilung von 70 % bzw. 30 % im Modellierungsergebnis, sondern zu einer Vergrößerung von K1 gegenüber dem Fall, dass beide Werte gleich wären. *A-priori*-Werte wurden so eingestellt, dass annähernd die gewünschten Klassengrößen erreicht wurden.

SAS liefert bei der DA u.a. Konstanten und Koeffizienten unter der Bezeichnung „*linear discriminant function*“, z.B. für Klasse K1 und K2. Hier handelt es sich nicht um D-Funktionen, sondern Klassifikationsfunktionen. Für jede Zielklasse existiert eine solche Funktion. Setzt man Variablenwerte z.B. von X1 und X2 ein, so ergibt sich ein Klassifikationswert. Der Proband wird in die Klasse, bei der der höchste Wert resultiert, eingeordnet. Die Werte sind insofern von praktischer Bedeutung, als dass unter Abwägung der Konstanten und Koeffizienten erkannt werden kann, ob hohe bzw. niedrige Werte einer Variable die Zuordnung zu Klasse K1 oder K2 fördern. Schwellenwerte, ab denen bestimmte Zuordnungen erfolgen, können aber nicht ohne weiteres erkannt werden, weil sich die Koeffizienten aller unabhängigen Variablen zu einem Modell ergänzen. Im folgenden Beispiel fördern hohe Werte von X1 und / oder X2 die Klasse K2, weil dann die Differenz der Konstanten von -2 egalisiert wird:

$$K1 = -7,0 + (0,12 * X1) + (0,025 * X2)$$

$$K2 = -9,0 + (0,14 * X1) + (0,030 * X2)$$

Die Deutung der Koeffizienten ist immer dann für die Prüfung der Plausibilität eines Modells besonders sinnvoll, wenn relativ viele Variablen einbezogen werden und / oder einige davon in ihrer Bedeutung nicht klar zu werten sind und sich die Abhängigkeit der Lage der modellierten Klassen im Raum anhand einer kartographischen Darstellung nicht sofort erschließt. Wenn mehrere Variablen verwendet werden, ist der Beitrag, der Steuerungsmechanismus einer Variablen, im Kartenbild nicht unbedingt erkennbar. In dieser Arbeit wurde in der Regel aber so verfahren, gewählte Variablen und somit die D-Funktionen zu akzeptieren, solange das Anwendungsergebnis erfolgreich ist bzw. plausibel erscheint. Die Bedeutung einer einzelnen Variablen wird bei Unsicherheit in ausgewählten Fällen anhand von o.g. Gleichungen getestet. U.a. in Abschnitt 7.3.3 wird es besprochen.

6.2.6 Anwendungsbeispiele

Fünf Relieftypen sind die Zielklassen, die u. a. mit Hilfe einer Diskriminanzanalyse anhand von sechs Variablen für ein Untersuchungsgebiet der Schweiz bei KUNDERT (1988:72f, 80) ausgewiesen werden sollen. Die Variablen sind: Neigung; Standardabweichung der Zellenwerte als ein Rauigkeitsmaß aus der absoluten Höhenverteilung in einer 10x10-Zellenumgebung; ein Maß zur Trennung von ebenen und unebenen Bereichen, berechnet als Anteil derjenigen von 100 Zellen, deren Höhenwerte um höchstens 10 m abweichen; ein Maß für Geländekanten, berechnet als Anteil derjenigen von 100 Zellen, die höher liegen als die betrachtete Zelle; die Entropie als Maß für die Unruhe bzw. Komplexität eines Rasterfiles und das 10x10-Zellenmittel der absoluten Profilkonvexität.

Aus fünf Quadraten der Relieftypen, die aus je 25 Zellen (Beobachtungseinheiten) bestehen, setzt sich das Trainingsgebiet zusammen. Die Quadrate entsprechen Polygonen der vorliegenden Arbeit, die Zellen entsprechen den hier aus Polygonen abgeleiteten Zellen. Das Trainingsgebiet ähnelt somit der sog. ideellen Datenbasis DB₁ (6.1.2). Es wird die Klasse „stark coupiertes Gelände“ deutlich zu weitflächig modelliert, eine starke Klassendurchmischung tritt auf, nur Ebenen werden adäquat ausgewiesen. Bei der Nutzung von nur drei anstatt sechs Variablen, die graphisch-subjektiv gewählt wurden, wird die Klassenverteilung im Raum deutlich homogener (vgl. 6.2.5).

PREGITZER & BARNES (1984) klassifizieren elf eingangs im Gelände kartierte und danach per Luftbildanalyse abgeleitete Standorteinheiten (*ecosystem units, upland site units*) mit reliefbezogenen, bodenkundlichen und vegetationskundlichen Variablen. Die besten Ergebnisse bei der Reklassifikation der insgesamt neunundfünfzig benutzten Geländeauschnitte (*plots*) erreichen sie mit einer Kombination von siebzehn Variablen aller drei Variablengruppen. Die besondere Bedeutung des Bodens und der Topographie wird herausgestellt. Eine Variable *topographic position* wird oft erwähnt: Sie enthält kategorielle Werte wie „*rocky knoll or ridgetop*“, „*footslope*“ und „*depression*“. Hangneigung, ein transformierter Neigungsrichtungswert und „*depth to water table*“, im weitesten Sinn hier vergleichbar mit HOEDIFTIE (5.2.3.9), werden einbezogen (S. 363). Die modellierten *upland site units* sind mit forstlichen Standorteinheiten hinsichtlich einiger Kriterien vergleichbar:

- *deep soils,* *level to gently sloping terrain, excessively drained sand, jack pine*
- *other physiographic units,* *exposed rocky ridges,* *white pine*
- *other physiographic units,* *small protected valleys and stream flats,* *sugar maple*

Die Vergleichbarkeit der Einheiten beruht auf dem integrativen Charakter der dortigen Kartierung, der die Nährstoff- und Wasserversorgung als bedeutende Steuergrößen für das Wachstum einbezieht und insofern versucht, die diese Größen beeinflussenden Faktoren zu erfassen (S. 362). Ein *stepwise*-Auswahlansatz mit bestimmten Signifikanzlevel wird durchgeführt. Die Aussage ist, ob Variablen überhaupt abgesichert zur Diskrimination der untersuchten elf Standorteinheiten beitragen.

Die *stepwise*-Auswahl wird auch bei CARTER et al. (1999:397) zum Eliminieren von redundanten Informationen in einer *landtype classification* benutzt.

HERRMANN, R. (1974) nutzt die DA für die Abflußvorhersage, d.h. ähnlich wie in dieser Arbeit im weitesten Sinn für Kenngrößen des Wasserhaushalts. Er unterteilt Abflußereignisse in sechs Gruppen, je nach Direktabflußspitze und Direktabflußsumme. Nach vorgeschalteter Variablenselektion über Hauptkomponentenanalysen beginnt er die eigentliche DA mit neun von ursprünglich einundzwanzig Prädiktoren. Schließlich gelangt er zur Verwendung von drei von fünf möglichen DA-Funktionen, die jeweils noch sechs der zuvor neun Prädiktoren nutzen. Folgende Reihenfolge in der Bedeutsamkeit der

Trenneigenschaft der Prädiktoren wurde dabei deutlich: Dauer des Niederschlagsereignisses, dessen Gesamthöhe, die mittlere Flußdichte, die logarithmierte Größe des Niederschlagsgebietes, das mittlere Gefälle des Hauptflusses und zuletzt die Fläche mit Böschungswinkeln $>15^\circ$ im Niederschlagsgebiet. Die vier letztgenannten Prädiktoren sind solche mit rein „räumlicher Streuung“ und im Prinzip also reliefabhängige Variablen, wie sie auch in dieser Arbeit in angepasster Form verwendet werden.

RUMP et al. (1976) untersuchen die Wasserqualität kleinerer Flüsse. Sie nutzen bei der Diskriminanzanalyse Prädiktoren wie die Ackerfläche, Waldfläche oder wirtschaftliche Tätigkeiten im EZG, den Anteil der Fläche mit Kalkgesteinen oder quartären Gesteinen, Wassertemperatur und Abflußmenge und Höhendifferenz im EZG. Die Zielgröße ist dabei ein „Wassergüteereignis“, das zuvor anhand von Meßwerten per Clusteranalyse oder graphisch definiert wurde.

Einige der in den vorherigen Abschnitten genannten Verfahrensoptionen und Maßzahlen treten bei SINOWSKI & AUERSWALD (1999:118) auf. Sie nutzen ebenfalls die Prozedur *discrim*, um zwei geologische Lockermaterialeinheiten in einem 1,5 km² großen Testgebiet zu diskriminieren.

6.3 Statistischer Ansatz – Regressionsanalyse

Regressionsanalysen sind allgemein bekannt und werden ausreichend dargestellt (BAHRENBURG et al. 1985, 1992). Der entscheidende Unterschied zur Diskriminanzanalyse ist im Kontext dieser Arbeit das Skalenniveau der Zielgröße: Es ist hier metrisch (stetig) und bei der DA nominal (diskret, kategoriell). Diskussionswürdig ist allenfalls, ob Basisdaten, mit denen gerechnet werden muß, wirklich metrisch sind oder nur die Zielgröße nach allgemeinem Verständnis metrisch ist:

Eine metrische Zielgröße ist die Mächtigkeit von Lockermaterialdecken. Da in dieser Arbeit nicht mit Profilaufnahmedaten gearbeitet wird, sondern mit flächenhaften Standortstypen (Klassen), können nur fixe Werte je Typ abgeleitet werden. Man kann das Skalenniveau auch ordinal nennen. Die Substrat / Lagerungsklasse 23 beispielsweise hat eine mögliche Deckenauflage von 3-7 dm (vgl. Tab. 3); an welchem Ort 3,0 oder 4,3 oder 6,9 dm vorliegen ist nach Datenlage unbekannt. Wie in 7.1.4.2.4 vorgestellt, werden aber je Standortstyp fixe Werte verwendet -in dem Beispiel 5 dm- und damit wird „in der Fläche“ eine wenn auch etwas stufige, metrische Verteilung der Lockermaterialmächtigkeiten erzeugt (logistische Regression).

Bei BLEDSOE & WATSON (2001:284f) werden Prinzipien der logistischen Regression verdeutlicht: „... *rather than predicting a binary variable, the regression model predicts a continuous variable that stays within the 0-1 bounds.*“ Die Wahrscheinlichkeit einer Merkmalsausprägung wird hergeleitet und die kategorische Entscheidung fällt schließlich auf die Ausprägung mit der höchsten Wahrscheinlichkeit.

Anhand des Vorkommens ausgewählter Pflanzenarten im Schwarzwald erläutert STORM (1996:325, 370) das Prinzip der logistischen Regression. Es „... werden statistisch signifikante und ökologisch relevante Regressionsmodelle ... aufgestellt; diese erlauben es anzugeben mit welcher Wahrscheinlichkeit eine Art oder ein Vegetationstyp an einem Ort vorkommt, wenn bestimmte Standortfaktoren bekannt sind.“

Ein gutachterliches Deckenmächtigkeitsmodell nutzt die Regressionsanalyse metrischer Daten (7.1.4.2). Wie auch bei der DA ist der Grund für Variablenauswahl die Festlegung eines sparsam parametrisierten Modells. Dies ist eine pragmatische Ergänzung der sachlichen Begründung, ungeeignete Variablen zu eliminieren, weil sie das Ergebnis verschlechtern könnten.

6.4 Regelbasierter Ansatz

In bestimmten Situationen kann es angebracht sein, Klassen durch subjektive Formulierung von Regeln zu definieren. Wenn Kriterien von vornherein bekannt sind, ist dies der Fall: Steilhänge, eine Klasse der Aggregationsstufe „Geländeform“, sind ein Beispiel dafür (7.2.11). Der GÖS gibt dazu klare, im GIS verfügbare Kriterien an.

Eine solche Situation ist auch dann gegeben, wenn keine sinnvolle Entscheidung durch die mehr oder minder automatisierte Modellaufstellung der Diskriminanzanalyse (6.2) erreicht werden kann, aber trotzdem eine Klassenaufteilung stattfinden soll. Dazu muss allerdings der Sachverhalt logisch nachvollziehbar und theoretisch begründbar sein. Es sind dann allerdings die Ergebnisse einer regelhaften Entscheidung besonders vorsichtig zu nutzen, da offensichtlich die Datenbasis der Fragestellung nicht genügt (vgl. 7.1.1.4).

Da es sehr aufwändig und dabei unsicher ist, immer neue spezifische Regeln für die Trennung von Klassen, deren Existenz von komplexen Zusammenhängen bedingt ist, zu formulieren, werden solche Ansätze in dieser Arbeit nur nachrangig benutzt. Beispiele regelbasierter Entscheidungen im geowissenschaftlichen Bereich geben BOMBIEN & STOLZ (1993) und KRATZ & SUHLING (1997).

6.5 Kopplung von GIS und Statistiksoftware

Der technische Ablauf des Modellierens unter Einsatz der Regressionsanalyse ist nicht durch einen ausgeprägten Wechsel zwischen GIS und externer Statistiksoftware geprägt (7.1.4.2.4.4). Der Ablauf der Modellierung per Diskriminanzanalyse ist aber zweigeteilt und durch einen mehrmaligen Datenaustausch gekennzeichnet (Abb. 35).

Die *grid*-Funktion *sample* diente zur Erstellung der Modellierungsdatensätze (1), die i.d.R. eine Teilmenge von einigen Tausend zufällig verstreuten Zellen der Klassen beinhalten. Diese Zellen werden aus der Gesamtheit aller aus Polygonen abgeleiteter Zellen der Standortdaten gewählt. Eine vollständige Einbeziehung aller möglichen Zellen ist hier vor allem bei häufigen Klassen unnötig; sie würde keinen Informationsgewinn bedeuten. Ein *file* A wird mit SAS eingelesen, ggf. die im *sample* enthaltenen Klassen gruppiert und in ihrer Größe noch einmal modifiziert, je nachdem welche Klassen und Teilfragen in der Situation von Interesse sind. Per Prozedur *stepdisc* werden die Variablenwahl vollzogen und Kennzahlen berechnet (2). Hier wird auch entschieden, in welcher Reihenfolge Klassen modelliert werden (6.1.6).

Die relevanten Variablen werden für den zu beschreibenden Gesamt- oder Restraum per *sample* zusammengestellt (3). Gesamttraum bedeutet, dass noch kein Teilbereich der zu modellierenden Fläche mit Modellklassen belegt ist. Sobald dies aber der Fall ist, handelt es sich um den Restraum.

Auf das *file* B wird das Modell aus (2) übertragen; dazu dient die Prozedur *discrim* (4). Hier wird als Optionen die anzuwendende *a-priori*-Verteilung der Zielklassen eingestellt. Das *file* C, nur aus Koordinaten und Ergebnismodellklassen aufgebaut, gelangt zurück in das GIS, wo ein *grid layer* erstellt wird (5). Eignet sich der unter (1) erstellte Modellierungsdatensatz für weitere Schritte und ist in einem Schritt nicht bereits der Gesamttraum klassifiziert worden, so kann die Wiederholung bei (2) ansetzen (W2), ansonsten muss ein neues Basis-*sample* erstellt werden (W1).

Wegen des verschachtelten und schrittweisen Vorgehens wiederholt sich der Vorgang (6.1.8).

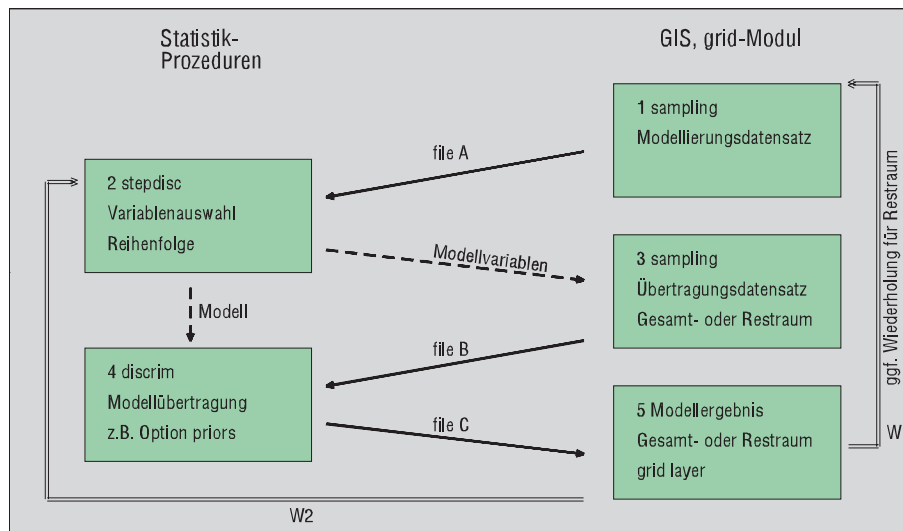


Abb. 35: Schema des Wechsels von GIS-Arbeiten und Statistik-Prozeduren bei Einsatz der Diskriminanzanalyse.

6.6 Modelltheoretische Einordnung

Eine modelltheoretische Ordnung, „*taxonomy of environmental models in spatial sciences*“, gibt SKIDMORE (2002:9) in der Artikelsammlung „*Environmental modelling with GIS and remote sensing*“.

Tab. 17: Ordnung von Modellen in Umweltwissenschaft und GIS-Anwendung. Einordnung der Verfahren.
Nach SKIDMORE (2002:9), verändert.

			<i>models of logic</i>	
			<i>deductive</i>	<i>inductive</i>
<i>models based on processing method</i>	<i>deterministic</i>	<i>empirical</i>	-	<i>DA</i>
		<i>knowledge</i>	<i>regression, rules</i>	-
		<i>process</i>	-	-
	<i>stochastic</i>		-	-

Er betont, dass ein Modell in den Umweltwissenschaften einerseits durch die Herleitungsmethode (*processing method*), andererseits durch den Typ des logischen Ansatzes (*logic type*) charakterisiert ist. Ein deduktives Vorgehen leitet das Wissen zu einem Einzelfall vom Allgemeinen ab. Aber woher stammt die Rechtfertigung für eine vorangestellte Verallgemeinerung? Sie kann nur von Beobachtungen stammen, die aber in einer aktuellen Modellsituation nicht herangezogen werden. Also wurde zuvor einmal induktiv gearbeitet. In den Geowissenschaften liegen oftmals nur lokal aufgenommene Daten vor (*usually site-specific, locally*) und somit sind solche induktiven, empirisch gewonnenen Modelle nicht immer auf andere Bereiche deduktiv anwendbar.

Ein induktives Vorgehen findet nach SKIDMORE statt, wenn z.B. bei einzelnen Geländeaufnahmen oftmals festgestellt wird, dass eine bestimmte Baumart auf Bergrücken vorkommt. Dieses Faktum lässt einen bestimmten Schluß zu (*conclusion*), ohne dass eine wirkliche Erklärung des Phänomens stattfindet. Die Diskriminanzanalyse benutzt Zellenwerte, um in Einklang mit der Variablenwahl die Diskriminanzfunktion festzulegen. Damit ist das Diskriminanzmodell definiert. Es stellt die Verallgemeinerung des Zusammenhangs zwischen erklärenden, unabhängigen und der abhängigen Variablen dar. Es wird von einzelnen Beobachtungen ausgehend induktiv auf das Allgemeine geschlossen

(vgl. DA in Tab. 17). Bei der Anwendung der DA-Modelle wird eine zu modellierende Klassengröße durch *a-priori*-Annahmen, die auf Expertenwissen basieren sollen, mitgesteuert.

Eine Regressionsgleichung, wie sie in dieser Arbeit unter der Annahme bestimmter Prämissen (*prepositions*) aufgestellt wird, steht im Bereich der deduktiv aufgestellten Modelle. Diese Prämissen beruhen auf einem bereits existierenden Wissen (*knowledge driven, hypothesis driven*). Sobald solch eine Gleichung ohne Prämisse rein statistisch im Zuge einer automatisierten Variablenwahl aufgestellt wird, liegt, wie bei der DA, ein induktives Herleiten vor (*data driven*).

Das Ergebnis von Regressionsmodellen in dieser Arbeit wird aber weiterverwendet und zwar zur regelbasierten Abgrenzung von Klassen (*rules*). In diesem Moment wird Wissen bzw. eine Meinung angewendet: Ist es deduktiv (Expertenwissen, was durch Erfahrung begründet ist) oder induktiv?

„*The rules are the most subjective aspect of an expert system []. In an ideal situation the rules may be derived statistically, although this is often not possible. Thus the rule is heuristic, estimated from the 'feeling' or 'knowledge' of experts.*“ (SKIDMORE et al. 1991:437). Demnach ist das Vorgehen deduktiv, aber das vermeintliche verallgemeinernde Experten„wissen“ ist eher eine vorläufige Arbeitshypothese.

Standortstypen sind nicht wie Objekte, die eindeutig einer Klasse angehören, im Gelände vorzufinden, sondern sie sind in den meisten Fällen nur das Produkt einer Schwellenwertanwendung und Wertung durch den Kartierer. In dieser Arbeit liegen Schwellenwerte -z.B. von Lockermaterialmächtigkeiten- bereits fest und die Klassifizierung folgt gezwungenermaßen diesem Vorgabemuster. Sobald auf kontinuierliche Daten Regeln angewendet werden und das Ergebnis dieser Anwendung in „Klassen“ mündet, die allein durch diese Formulierung existieren, liegt eine andere Situation vor als die, in der Regelanwendung eine bestimmte naturgegebene „Klasse“ ausweist. Für die erste Situation ist die Ausweisung der Klasse „Steilhang“ anhand von Schwellenwerten der kontinuierlich wechselnden Neigung zu nennen, für die zweite Situation kann die Ausweisung eines Vorkommens der Krautart K als Beispiel gelten. Während es in der ersten Situation keine Unsicherheit (*uncertainty*) gibt, besteht im zweiten Fall ein gewisses Maß an Unsicherheit, weil die Krautart K an bestimmten Orten „sehr selten“, aber an anderen Orten „sehr häufig“ vorkommen kann. Die meisten Standortstypen sind aber nicht numerisch eindeutig definiert. Ihr Vorkommen an einem bestimmten Ort ist also auch unsicher. Ein sicherstes Modell wird nicht mehr regelhaft formuliert werden, weil es zu komplex sein wird. Deshalb ist die Modellaufstellung der Statistik zu überlassen, soweit die Datenbasis dies erlaubt.

Prozeßmodelle -oder physikalisch begründete Modelle- liegen nicht vor, da der eigentlich steuernde Prozeß, der zu der Ausbreitung bestimmter Standortstypen führt, unbekannt ist; es handelt sich somit nicht um ein „*white box model*“ (SKIDMORE S. 26). Allerdings hat ein Modellanwender Prozesse vor Augen, wenn er die Plausibilität der aufgestellten Modelle überdenkt. Stochastisch (~zufallsabhängig) sind die Modelle nicht, sondern deterministisch.

Das Statement von SKIDMORE (S. 9) trifft auch auf das Gesamtmodell dieser Arbeit zu: „*Finally, a model may actually be a concatenation of two (or more) categories*“. Denn eine Standortkomponente wie die „Lagerung“ wird über Modelle mehrerer Kategorien hergeleitet.

Teil III Modellumsetzung und Modellwertung

7 MODELLIERUNG der STANDORTEINHEITEN

7.1 Substrate und Lagerungsverhältnisse

Die Forstlichen Standortstypenkarten des Niedersächsischen Berglandes enthalten maximal sieben Substratklassen (2.3.2.1). Schon ihre Kenntnis allein ist zwar forstwirtschaftlich nützlich, aber sie sind auch für die Herleitung der Wasserhaushaltszahl und schließlich für das Nährstoffangebot bedeutsam. Deswegen und in Einklang mit dem zugrundeliegenden Ansatz (6.1) beginnt die Modellierung mit der Substratklassenherleitung, an die sich unmittelbar und untrennbar die der Lagerungsklassen anschließt.

Dabei gibt es mehrere Werkzeuge: Geomorphologische Variablen dienen zur Ausweisung von einigen Substratklassen und zur Bestimmung der Eigenschaften von Lockermaterialdecken. GK25-Informationen dienen zur Bestimmung der Eigenschaften des unterlagernden Festgesteins und ebenfalls der Eigenschaften der Decken. Statistische und regelbasierte Methoden kommen je nach Datenverfügbarkeit zum Einsatz und ergänzen sich. Die Ergebnisse der Anwendung dieser Werkzeuge bzw. die Ergebnisse der Teilmodellschritte müssen demnach zusammengeführt werden. Dies wäre nicht sinnvoll möglich, wenn für eine Zelle (d.h. einen Ort) zwei verschiedene, „endgültige“ Modellwerte ausgewiesen würden. Welches Teilmodell wäre dann „richtig“? Deshalb wurden die Teilmodelle konzeptionell möglichst so ausgelegt, dass für einen Ort nur ein modellierter Wert auftritt, der einem Ergebnis eines anderen Modells nicht widersprechen kann. Ansonsten ist die Reihenfolge der Zusammenführung wichtig.

Eine stringente Modellierung der Substratklassen und deren Lagerung ist schwerlich möglich, was bereits in Abschnitt 2.3.2 dargelegt wurde. In Tab. 4 und in der Tabelle im Anhang, in der die einzelnen Kriterien der Kartierung eingetragen sind, ist zu erkennen: Nicht jedes Kriterium wird für die Abgrenzung jeder Klasse benutzt. Der GÖS zeigt keine „symmetrische“, vollständige Anordnung möglicher Entscheidungswege.

Die Kombination von Entscheidungskriterien bzw. -merkmalen ist in Tab. 18, die auf Tab. 3 fußt, wiedergegeben: Gleiche Signaturenkombination bedeutet methodische Gleichheit der Herleitung einer Substratklasse. Jeweils erste Zeilen nennen den letztendlich namengebenden Profilbereich für die einzelne Substratklasse: Entweder das Gesamtprofil, den Unterboden oder den Oberboden.

Bereits für die Zielgröße **Substrat** ergeben sich folgende modellbezogene Aufgaben:

- 1 Material zu identifizieren, dass das Vorkommen der Substratklasse 1 bedingt (gelb): 11 - 16.
- 2 Einen Weg zu finden, der bestimmte Substratklassen hervorbringt, obwohl die entscheidenden, prägenden Substrate nur als > x dm mächtige Decken *über* anderen Substraten liegen.

Substrat / Lagerungsfälle (hellblau / grau. Decke ~ Oberboden ist entscheidend):

24 und 25	in Substrat	2
45, 46 und 48		4
54 (Sonderfall)		5
64 und 65		6

Substrat	Substrat / Lagerung									
1 Grob- boden	Gesamtp.		Oberb./				/Unterb.			
	11	12	13	14	15		16			
	Blöcke-Steine	<2	3-7, unverlehmt	3-7, unverlehmt	3-7, unverlehmt	3-7, unverlehmt	2-7, Feinb.+		Kiese-Schotter	
		Kiese-Schotter	basenarm	Ton	Kalk	basenreich				
2 basenarm	Gesamtp.		/Unterb.				Oberb./			/Unterb.
	21	22		23		24	25		26	
	<1, unverlehmt	3-7, schw. verlehmt	<3, schluffig	3-7, verlehmt	3-7, schluffig	>7	>7	>7	<7	
					Ton	Kalk	basenreich			
3 Fein- boden	Gesamtp.		Gesamtp.		Oberb./		Gesamtp.		Oberb./	
	31	32	33		34		35			
	>15, verunreinigt	>15, typisch	7-15, a. angereichert	7-15, a. angereichert	>15, stauend	>7, gestaut	7-15, auch verarmt			
		Kalk	basenreich		stauend	basenarm				
4 Kalk	Gesamtp.		/Unterb.		Oberb./		Gesamtp.		/Unterb.	Oberb./
	41	42	43	44	45	46	47		48	
	<1, steinig+	<2	2-4	4-7	>3	>3	Kalksandstein		<7	>3
		steinig	steinig -	steinig -	basenreich	basenarm	Kalksandstein		(Bröckel-)Ton	
5 Ton	Gesamtp.		Oberb./		/Unterb.			Oberb./		/Unterb.
	51		52	53		54		55	56	
	schwer	>7	<2	2-7, verlehmt	2-7, schluffig	>7	2-7	<3	3-7	
					Kalk		Bröckelton	Bröckelton		
6 basenreich	Gesamtp.		/Unterb.			Oberb./				
	61	62	63		64	65				
	<1, steinig+	2-4	4-7, verlehmt	4-7, schluffig	>7	>7				
		steinig	steinig -	steinig -	basenarm	stauend				
7 Kolluvium Alluvium	Gesamtp.		Oberb./			Gesamtp.		Oberb./		
	71	72	73		74					
	>7	2-7	2-7	2-7	>2, stauend	<7, gestaut			Anstehendes	
		basenarm	Kalk	basenreich	alle	stauend			Unterlagerndes	

Erläuterung:
Feinbodenarmut
Decke > y
Decke x - y oder < y
Feinbodenreichtum
Kolluvium/Alluvium
Unterlagerndes

Tab. 18: Konstellation der Schichtmerkmale der Substratklassen und Zusammenfassung der Merkmale zu Gruppen (~Signaturen). (vgl. Tab. 3).
 Gesamtp. = Gesamtprofil, Oberb. = Oberboden, Unterb. = Unterboden. anger. = angereichert, schw. verl. = schwach verlehmt. Mächtigkeitsangaben der ersten Zeilen in dm.

3 Einen Weg zu finden, der bestimmte Substratklassen hervorbringt, obwohl die entscheidenden, prägenden Substrate von x bis y dm mächtigen Decken anderer Substrate *überlagert* werden.

Substrat / Lagerungsfälle (dunkelblau / grau. Anstehendes ~ *Unterboden* ist entscheidend):

16	in Substrat	1
22, 23, 26		2
42, 43, 44		4
52, 52, 54 (Sonderfall), 56		5
62, 63		6

4 Löss u. ähnlich feinbodenreiches Material (3, hellgrün) und Kolluvien/Alluvien (7, grün) zu identifizieren: 31-35 und 71-74.

5 Standorte nahezu ohne Decken, also mit homogenem Gesamtbodenaufbau zu identifizieren:

21, 41, 51, 61	in Substrat	2, 4, 5, 6
----------------	-------------	------------

Eine Bearbeitung ist in Hinblick auf Substrate und Substrat / Lagerungskombinationen der FSK10 somit in mehrdimensionaler Weise notwendig:

- Decken und Unterlagerndes sind in der Aufsicht zweidimensional, sie sind „flächig“.
- Durch die Mächtigkeit der Schichten und deren Abfolge ergibt sich die dritte Dimension.
- Durch die Prozesse der Bodengenese sind Decken durch die Verhältnisse im EZG geprägt.

7.1.1 Substratklasse 1, hergeleitet anhand der GK25 und geomorphologischer Variablen

Da in der Datenbasis für das Bergland nahezu keine Standorte der Substratklasse 1, den feinbodenärmsten Decken, vorkommen, muss die Möglichkeit der Modellierung dieser besonderen Klasse anhand von Daten des westlichen Westharzes (17.000 ha) aufgezeigt werden. Es handelt sich insofern um eine Sonderklasse, als das entscheidende Kriterium losgelöst von anderen Kriterien zur Substratherleitung, also ohne Kombination von Kriterien, zur Wirkung kommt: Sobald sehr feinbodenarme, einschichtige Böden oder feinbodenarme Decken existieren oder sobald Gerölle, Schotter, Kiese, Sande nur geringe feinbodenreiche Überlagerung (2-7 dm) aufweisen, liegt Klasse 1 vor. Hier gilt also ein anderes Kriterium als zur Beschreibung der üblichen Decken oder unterlagernden Gesteine bei Substrat 2, 4, 5 und 6 (7.1.3 und 7.1.4). Einige Lagerungsklassen der anderen Substrate stellen zwar ebenfalls feinbodenarme Standorte dar. Es sind dies 21, 41 und 61 (Tab. 3). Dort aber ist der Skelettanteil nicht extrem hoch wie bei Substratklasse 1. Ein Unterschied zwischen Klasse 1 und anderen Substraten ist auch folgender: Es gibt keine bestimmten Gesteine, die weitreichend zu Substrat 1 gehören; Stattdessen bauen immer nur kleinere Teilbereiche dieser Gesteine Substrat 1 auf. Diese Klasse setzt sich aus folgenden Substrat / Lagerungskennzahlen (GÖS 2000) zusammen (vgl. Tab. 3):

11 Felsen, Blockhalden und Schotter

12 feinbodenarme Gesteinsböden (z.B. aus Geröllen, Kiesen, Schottern)

13 feinbodenärmste, auch unverlehnte oder fast unverlehnte Decken über basenarmen Silikatgestein

14 desgl. über tonigen Lagen

15 desgl. über Kalk o. basenreichem Silikatgestein

16 Gerölle, Schotter, Kiese, Sande mit erheblichen Überlagerungen durch feinbodenreiche Decken

Klasse 16 steht insofern abseits, als dass dort das entscheidende feinbodenarme Material überlagert wird. Dies findet aber nur in einem Maße statt, dass der gesamte Charakter nicht zur Ausweisung etwa der Substratklasse 2 oder gar 3 führt.

Zwei Standortstypen, die Substrat 1 aufweisen, wurden aus der Datenbasis eliminiert:

a Anthropogen bedingte Sonderstandorte (z.B. Steinbrüche), die durch ein „S“ gekennzeichnet sind und

b Moorstandorte, gekennzeichnet durch die Wasserhaushaltszahl BFG 16 bzw. Variantenangabe I.

Derartige Standorte können Modelle verfälschen bzw. kommen im Bergland nicht vor, so dass sie unbeachtet bleiben müssen. Die Datenbasis stellt sich folgendermaßen dar:

Tab. 19: Substrat / Lagerungsklassen der Substratklasse 1 „Feinbodenärmste Decken“ im westlichen Harz.

Substrat / Lagerung	11	12	13	14	15	16
Ausdehnung ha	17,3	55,8	60,0	-	-	39,0
Anteile %	10	32	35	-	-	23
Anzahl Flächen	32	85	14	-	-	29

Feinbodenärmste Decken über Ton oder über Kalk (14, 15) fehlen, die anderen vier Substrat / Lagerungsklassen kommen in Anzahl und Ausdehnung genügend häufig vor, so dass mit ihnen dem Problem der Modellierung von Substrat 1 nachgegangen werden kann. Substratklasse 1 baut im übrigen insgesamt nur 1 % der hier betrachteten Fläche des westlichen Harzes auf.

Bei Durchsicht der Definitionen der Substrat / Lagerungsklassen 11 bis 16 (Tab. 3) und bei graphischer Deutung der Standortdaten des Harzes ergibt sich die These, Substrat 1 in zwei Situationen vorzufinden:

- 1 In hohen, exponierten Lagen, die bestimmte Verwitterungs- und Materialtransportverhältnisse zeigen.
- 2 In tiefen Lagen der Täler ohne oder mit geringer Feinmaterialsedimentation.

Dies leitet zu Teilfragen über: Kann diese Substratklasse 1 bzw. die bestimmende Eigenschaft ausschließlich aus der GK25 oder ausschließlich aus Reliefdaten hergeleitet werden? Ergibt die Kombination aus GK25-Information und Reliefdaten die beste Herleitung?

Der erste Ansatz geht von einzelnen geologischen Einheiten aus und versucht aus ihrer Perspektive den Zusammenhang zum forstlichen Standort aufzuzeigen. Der zweite Ansatz hingegen zieht Substrat-1-relevante geologische Einheiten in ihrer Gesamtheit heran und zergliedert den Raum per Diskriminanzanalyse in Substrat 1 und „Andere“. Der dritte Ansatz arbeitet ebenfalls per Diskriminanzanalyse, zergliedert aber profilbezogen (schichtbezogen) in Lagerungsklassen und definiert so indirekt die Substratklasse 1 gegenüber „Anderen“. Er nutzt als geologische Information das „unterlagernde“ Festgestein (vgl. 7.1.4) und die Anteile Substrat-1-relevanter Gesteine im Einzugsgebiet. Schließlich ergibt sich der vierte Ansatz, bei dem regelbasiert gearbeitet wird.

7.1.1.1 Ansatz 1: Zuordnung und Umsetzung einzelner geologischer Einheiten

7.1.1.1.1 Zusammenhang geologischer Einheiten mit Substratklasse 1

Obwohl sich an anderer Stelle gezeigt hat (5.3.1), dass die auflagernden Lockermaterialien der GK25 nicht mit den Substratklassen 3 und 7 korrespondieren, soll hier geprüft werden, ob ein Zusammenhang zumindest zur Substratklasse 1 besteht. Die Lockermaterialien, die hier als Indiz für Substratklasse 1 fungieren könnten, sind von anderer Zusammensetzung als diejenigen, die als unzureichend für die Ausweisung von Substrat 3 und 7 erkannt wurden. Für die Ausweisung von Substrat 3 oder 7 müssen

feinkörnige Sedimente (Löß o.ä., Kolluvien) vorliegen, für die Klasse 1 hingegen grobkörnige Lockermaterialien wie Schotter. So ist eine separate Eignungsprüfung der GK25-Einheiten angebracht.

In dem betrachteten Gebiet treten 125 Einheiten der Kombination Stratigraphie / Petrographie der ersten und zweiten Schicht auf (STRPET12, vgl. 5.3.1). Gibt es einen offensichtlichen Zusammenhang zwischen geologischen Verhältnissen und Substratklasse 1 ?

Tab. 20: Verteilung geologischer Einheiten (STRPET12) auf die Lagerungsklasse 11 bis 16 und Substrat „Andere“. Angaben in % bzw. ha. Werte <0,1 % ignoriert.

STRPET12:	11	12	13	16	Andere
cdKQ ^{tsf}	1,2			4,89	93,92
cdKS ^{il.tsf.ti}	1,64	5,74	0,35	3,17	89,10
cdKS ^{ti}			38,80		61,20
do+D			19,61		80,39
doCY ^{tsf}			1,95		98,05
qDS.G.fX.C				11,45	88,55
qNS.G.fX.C				7,70	92,30
ha	17,3	55,8	56,00	39,00	17133,00

In Tab. 20 sind nur solche Fälle angeführt, bei denen mindestens 2 % auf Substrat 1 entfallen. Nur 7 der 125 geologischen Einheiten erfüllen dieses Kriterium. Keine davon zeigt eine eindeutige Zuordbarkeit zu Substrat 1; der höchste Anteilswert ist 39 %, d.h. etwa 60 % entfallen auch bei Einheit cdKS^{ti} auf andere als die Substratklasse 1. Da die Kombinationen aber geologisch – forststandörtlich sinnvoll erscheinen, wird dem weiter nachgegangen. Auffällig ist weiterhin, dass meistens der Anteil an Substrat 1 auf nur eine der vier Substrat / Lagerungsklassen entfällt, nur bei cdKS^{il.tsf.ti} werden alle vier Klassen berührt. Auch dies wird später wieder aufgegriffen.

Aus der absoluten Ausdehnung der geologischen Einheiten und der beiden Substratklassen 1 und „Andere“ läßt sich die bei Unabhängigkeit zu erwartende Ausdehnung der Kombinationen berechnen. Die Abweichung vom Erwartungswert, ausgedrückt als Verhältnis, ist neben den Anteilswerten in Tab. 20 zumindest ein Indiz für einen Zusammenhang, der die Umsetzung bestimmter geologischer Einheiten zu Standortklassen erlauben könnte. Wegen der großen Anzahl möglicher geologischer Einheiten vor allem auch in Relation zu den wenigen kartierten bzw. digital vorliegenden Vorkommen von Substrat 1 ist eine statistische Analyse der Zusammenhänge nicht sinnvoll durchführbar. Die geologische Einheit, bestehend aus vielen Kategorien, müßte als unabhängige Variable fungieren. Daher werden die Kombinationen spezifisch diskutiert und dabei auf Plausibilität geprüft.

Bei 13 der 125 Einheiten tritt Substratklasse 1 überproportional häufig auf (Tab. 21). Dazu gehören auch die 7 in Tab. 20 erwähnten Einheiten, bei denen überhaupt ein bemerkenswerter Anteil auf Substrat 1 entfiel. Die Einträge sind wie folgt zu lesen (Beispiel cdAC^q): 234 ha dieser geologischen Einheit kommen vor, auf Substrat 1 entfallen davon 3,7989 ha, nur 2,2802 ha sind erwartet, das Verhältnis Vorkommen / Erwartet ist demnach 1,6661. Es handelt sich in allen Fällen um einige Dutzend bis einige Hundert ha Ausdehnung der geologischen Einheiten. So liegen keine besonders seltenen, kleinen Einheiten vor, die diese Korrespondenz mit Substrat 1 aufweisen. Bei sehr geringer Ausdehnung könnte man maßstabsbedingte und GIS-technisch bedingte zufällige Kombinationen Geologie - Standort befürchten, die nicht interpretierbar wären.

Tab. 21: Verhältnis kartierter und erwarteter Kombination dreizehn geologischer Einheiten und Substratklasse 1.

Geologische Einheit (STRPET12)	ha gesamt	ha SUB 1	ha erwartet	Verhältnis	Tab. 20
cdAC ^q	234	3.7989	2.2802	1.6661	
cdDB+D	30	0.3140	0.2893	1.0856	
cdKQ ^{tsf}	132	8.0549	1.2870	6.2585	x
cdKS ^{il. tsf. ti}	495	53.9482	4.8097	11.2167	x
cdKS ^{ti}	98	38.0847	0.9528	39.9727	x
cdKT ^{tsf}	324	5.3527	3.1537	1.6973	
dd-dw ^{tsf}	95	1.2102	0.9259	1.3071	
do+D	47	9.1979	0.4557	20.1855	x
doCY ^{tsf}	204	3.9787	1.9830	2.0064	x
doRS ^{tsf}	62	1.3406	0.6056	2.2137	
qDS. G. fX. C	18	2.0329	0.1725	11.7873	x
qNS. G. fX. C	31	2.3959	0.3024	7.9237	x
qHT. U. S. G. C	95	1.1423	0.9234	1.2370	

In einigen Fällen ist aber nur unwesentlich mehr Substrat 1 kartiert worden als bei Unabhängigkeit zu erwarten ist, z.B. bei dd-dw^{tsf}. Es handelt sich hier um devonische Tonschiefer. Die petrographische Angabe ^{tsf} läßt auch nicht auf besondere Neigung zur Ausbildung von Substrat 1 schließen. Ähnliches gilt für die Einheiten, deren Verhältniswert von 1 bis etwa 2 rangiert. Hier muss also nicht unbedingt ein Zusammenhang bestehen. Dagegen ist bei den Quarziten der Einheit cdAC^q tatsächlich vermehrt mit Substrat 1 zu rechnen, obwohl der Verhältniswert Vorkommen / Erwartet nicht besonders groß ist (1,66).

Den höchsten Verhältniswert, etwa 40, zeigt die Einheit cdKS^{ti}, eine Einheit der Kulm-Kieselschiefer. Sie baut immerhin 98 ha auf, von denen 38 ha auf Substrat 1 entfallen. Eine ähnliche Einheit, cdKS^{il. tsf. ti}, ist weit ausgedehnt (495 ha) und entfällt ebenfalls häufig auf Substrat 1 (54 ha, Verhältnis 11). Die Kieselschiefer (^{ti}) neigen demnach zur Ausbildung der feinbodenärmsten Standorte. Andere geologische Einheiten als die beiden genannten, die ^{ti} als Petrographieinformation aufweisen, kommen unter den 125 Einheiten nicht vor. Somit kann die zuvor konstatierte, plausible These weder zusätzlich untermauert noch widerlegt werden.

Im Bereich der Festgesteinseinheiten fallen zwei weitere Einheiten auf:

cdKQ^{tsf} Kieselige Schiefer, Quarzitschiefer des Karbon. 8 v. 132 ha treffen mit Substrat 1 zusammen
do+D Oberdevonische Diabase. Etwa 9 von 47 ha treffen mit Substrat 1 zusammen

Die erstgenannte Einheit unterstützt die vorgestellte These der Förderung von Substrat 1 durch kieseliges Material. Auf die enge Vergesellschaftung von Kieselschiefern und Diabasen weist HINZE (1976:37ff, Bl. 4127) hin. Da die Diabase zumeist Intrusivgesteine sind, ist die Konstellation nicht überraschend. In Einklang mit dieser Information steht die enge Verzahnung von Substrat / Lagerung 13 mit 62, den skelettreichen, basenreichen Silikatgesteinsverwitterungsböden mit geringmächtigen Überdeckungen. Diese Verzahnung findet sich im nördlichen Teil des aktuellen Testgebietes.

HINZE nennt die Diabase „hartes magmatisches Gestein“. Ein Indiz für das Vorkommen von Substrat 1 ist auch der lokale Name der aus Diabasen aufgebauten „Rote Klippe“. Anhand der Koordinatenangaben bei HINZE können Annahmen bezüglich der Umsetzung zu Substrat 1 geprüft werden:

Tränketal	3584750 5750500, dort Substrat 6
Teufelsecke	3588300 5751000, dort Substrat 1
Steigertal	3586630 5752180, dort Substrat 2, weder Substrat 1 noch 6 in direkter Umgebung
Rote Klippe	3587900 5752170, dort keine Standortdaten

Im Tränketal kommen Diabase am Hangfuß vor, insofern ist die Kartierung von Substrat 6 (basenreiche Silikatgesteine) anstatt 1 angebracht. Die Teufelsecke ist eine weit in Richtung Talboden vorgeschobene Nase. Dort erscheint Substrat 1, wie kartiert, adäquat zu sein. Im Steigertal wurde das Diabasvorkommen nicht explizit beachtet, vermutlich weil es zu klein ist. An der Roten Klippe beginnt der Staatsforstbereich erst am oberen Ende des Gesteinsvorkommens, so dass der Bereich nicht standortkartiert ist. Einiges spricht nach dieser Einzelfallbetrachtung dafür, dass die Diabase sowohl zu der Substratklasse 6 (basenreich) als auch zu der Klasse 1 (feinbodenarm) gestellt werden können. Es kann aber nicht generell behauptet werden, die Diabase (+D) würden Substrat 1 hervorbringen. In der Datenbasis kommen vier weitere Diabaseinheiten vor, die nicht auffällig mit Substrat 1 korrespondieren.

Neben den angesprochenen Festgesteinseinheiten weisen auch zwei Lockergesteinseinheiten hohe Verhältniswerte von tatsächlichen Vorkommen zu erwarteten Vorkommen auf: qDS.G.fX.C und qNS.G.fX.C. Kies, Steine und Geröll bilden in diesen Fällen Terrassen. Die Vorkommen liegen allesamt in Bl. 4127 Seesen (FOA Lautenthal) und zwar im Tal der Innerste. Es handelt sich um „Gerölle, Schotter, Kiese, Sande mit erheblichen Überlagerungen durch feinbodenreiche Decken“ (Substrat / Lagerungszahl 16), also eine in Anbetracht der Lage plausible standörtliche Kennzeichnung.

Konsequenterweise müßten allerdings auch Einheiten, die ähnliche petrographische Werte (z.B. X und G) aufweisen, mit Substratklasse 1 einhergehen. Im Untersuchungsgebiet existieren folgende petrographisch ähnliche Einheiten: qNX.G, qNqMX.GmG-gG, qhG.C.fX, qwG.gX und qwqwUG.gX. Als einzige verwandte Einheit, die auch teilweise auf Substratklasse 1 entfällt, tritt qNX.G auf. Sie ist 273 ha groß; es handelt sich um breitere Talböden im Westharz. Aber nur ein kleiner Anteil von 1,3 ha wurde als Substrat 1 kartiert, was unterproportional ist (Verhältniswert 0,5). Diese Standorte liegen zersplittert im Innerstetal im FOA Lautenthal. Der größte Teil der Einheit qNX.G wurde hingegen als Substrat 7 „Kolluvien / Alluvien“ standortkartiert, wobei es sich hier augenscheinlich um Alluvien, linienhafte holozäne Wasserabsätze, handelt. Die Zuordnung ist verständlich. Bestimmte Lockersubstratvorkommen der GK25 bedingen also nicht zwingend Substrat 1.

7.1.1.1.2 Exkurs: Substratklasse Kolluvien/Alluvien (7)

In Abschnitt 5.3.1 zeigte sich, dass eine Umsetzung der geologischen Lockermaterialeinheiten in Substratklasse 3 und 7 nicht zufriedenstellen kann. Abschnitt 7.1.2 stellt die favorisierte Methode vor, nämlich die rein geomorphologische Herleitung dieser Klassen. Insofern besteht keine Notwendigkeit, Substrat 7, besonders die Alluvien, die eine Komponente der Klasse 7 sind, mit Hilfe geologischer Einheiten herzuleiten. Als Ergänzung zur Ausweisung von Substrat 7 wäre diese Information aber nutzbar. Ein Aspekt darf dabei aber nicht unbeachtet bleiben: Im Bergland, also außerhalb des Harzes, sind derartige in der GK25 kartierte Täler -auch wegen ihrer Breite- in der Regel keine Waldbereiche, sondern Grünlandbereiche. Deshalb würde eine Umsetzung solcher GK25-Einheiten kaum zur Belegung forststandörtlich zu kartierender Flächen mit Standortklassen führen. Wenn solche Bereiche im bewaldeten Bergland hingegen vorkommen, so sind sie wegen ihrer Ausdehnung und Gestalt (Talboden, Terrassen) leicht zu erkennen und gelangen mit großer Wahrscheinlichkeit in die Substrate 7 oder 1.

7.1.1.1.3 Zusammenhang geologischer Einheiten mit Lagerungsklasse 11 - 16

Tab. 20 zeigt die Verteilung geologischer Einheiten zumeist auf eine von vier Substrat / Lagerungsklassen. Wenn diese Kombinationen sinnvoll sind, könnte eine Substrat / Lagerungsklasse anstatt nur der Substratklasse 1 zur Kartierung vorgeschlagen werden.

Bei drei Festgesteinseinheiten baut ausschließlich Substrat / Lagerung 13 die Substratklasse 1 auf: **cdKS^{ti}**, **do+D** und **doCY^{tsf}**. Ist diese Zuordnung im Vergleich mit dem Wortlaut des GÖS adäquat?

Substrat / Lagerung 13 bedeutet (Auszug): Feinbodenärmste, auch unverlehmte oder fast unverlehmte Decken über feinbodenreichem Silikatgestein. Grenzbereichsdefinition: Zweischichtige Böden; 30-70 cm mächtige Decken aus unverlehmten oder fast unverlehmten Sanden oder mit Skelettanteilen >50 %.

cdKS^{ti}: Da die Kieselschiefer basenarm sind und in der Tiefe als Verwitterungsprodukt eine Feinbodenkomponente vorliegen kann, ist Klasse 13 sinnvoll.

doCY^{tsf}: (Oberdevon, Cypridinenschichten, Tonschiefer): Zu werten wie **cdKS^{ti}**.

do+D: Da Diabase basenreich sind, die GK25 hier das anstehende Festgestein beschreibt und somit auch das unterlagernde Gestein bekannt ist, sollte die Klasse 15 („... über basenreichem Silikatgestein“, GÖS 2000) anstatt 13 resultieren. Nach Auskunft von STÜBER (2002) kann der Diabas in seltenen Fällen auch zu den ärmeren Silikatgesteinen gestellt werden, insofern ist Lagerungszahl 13 ebenso möglich.

cdKS^{il}.^{tsf}.^{ti}: Zum größten Teil entfällt diese Einheit auf Substrat / Lagerung 12, also einschichtige feinbodenarme Gesteinsböden (Kiese, Schotter). Ein weiterer nennenswerter Anteil trifft auf Klasse 16, die Kiese und Schotter mit einer feinbodenhaltenden Decke. Beide Zuordnungen sind standörtlich akzeptabel. Es verwundert allerdings, dass die ähnliche geologische Einheit **cdKS^{ti}** vollständig auf Lagerung 13 entfällt, die Einheit **cdKS^{il}.^{tsf}.^{ti}** aber nur zu einem verschwindend geringen Anteil. Dies stellt die Zuordnung von **cdKS^{ti}** ausschließlich zu Lagerung 13 in Frage.

cdKQ^{tsf}: (Quarzitschiefer). Zum größten Teil entfällt diese Einheit auf Substrat / Lagerung 16, also zweischichtige feinbodenarme Gesteinsböden (Kiese, Schotter) mit Überlagerungen. Den restlichen Teil stellt die Klasse 11, die Böden mit geringstem Feinbodenanteil. Da beide Klassen möglich erscheinen, kann keine eindeutige Zuordnung erfolgen.

7.1.1.1.4 Herleitung von Substratklasse 1 und Lagerungsklasse 11 - 16

Ausgangslage ist nun, dass bestimmte geologische Materialien die Lagerungskomponenten der Substratklasse 1 begünstigen. Das Auftreten eines bestimmten Ausgangsmaterials allein bedingt aber diese Klassen nicht. Ob geomorphologische Variablen dazu beitragen, innerhalb der geologischen Einheiten zu differenzieren, ist anhand größerer geologischer Einheiten zu prüfen. Zwei wurden gewählt. Dabei kann auch direkt auf die Aggregationsstufe Substrat / Lagerung abgezielt werden, da manche Einheiten nicht nur tendenziell Substrat 1, sondern einer Lagerungsklasse zuordbar sind (z.B. **cdKS^{ti}**).

cdKS^{ti}:

Diese Einheit bietet sich besonders an, da sie immerhin knapp 100 ha ausmacht, zu knapp 40 % auf Substrat 1 und darin ausschließlich auf Lagerung 13 entfällt. Die Vorkommen liegen am Nordostrand des FOA Seesen (Abb. 1, Abb. 3). Das Gestein ist der Kulm-Kieselschiefer. Zur Beurteilung ist auch die forststandörtliche Umgebung hinzuzuziehen. Wie zu erwarten ist der Standort 13 hauptsächlich von

Lagerung 22, lehmig-sandigen Decken oder geringmächtigen schluffig-lehmigen Decken

Lagerung 23, schluffig-lehmige Decken größerer Mächtigkeit (gegenüber 22) und

Lagerung 62, skelettreichen Verwitterungsböden mit geringmächtigen Überdeckungen

über basenarmen (22, 23) oder basenreichen (62) Silikatgesteinen umgeben. Die hohen Anteile von 22 und 62 sind in dieser Lage verständlich. Die Klasse 13 stellt insofern eine Steigerung des Skelettreichtums bzw. der Feinbodenarmut dar.

- Substrat / Lagerung 13 gegen Andere (etwa je 4.000 Z):

Der Datensatz wurde so modifiziert, dass etwa 4.000 Zellen je Klasse resultierten. Nur zwei Variablen wurden als relevant erkannt: FLI-IL und EINSTRMODBES. Dabei trägt FLI-IL das deutlich höhere partielle R^2S . Reklassifikation ergibt *error rate* 27 % für Klasse 13, *error rate* 42 % für „Andere“. Die Klasse 13 wird allerdings zu weit ausgedehnt ausgewiesen. Die Klassifikationsfunktionen stellen sich plausibel dar: Ein vermehrtes Auftreten von Standort 13 in Lagen mit hohen Werten von FLI-IL und somit freier Lage und bei höherer Einstrahlung ist anzunehmen.

Auch ein Testlauf mit getrennten Modellierungs- und Validierungsgebiet wurde durchgeführt und dazu der Datensatz in eine West- und Osthälfte geteilt. Folgende Variablen (mit pR^2S) fanden Eingang in das Modell: EXP2 (0.11), SLODIS17 (0.05), ASPWEST (0.14). Die Exponiertheit (EXP2), eine ähnliche Variable wie FLI-IL und die Abweichung von Westexposition (ASPWEST) sind am bedeutsamsten. *A-priori*-Einstellungen verhalten bei der Modellübertragung auf die östliche Validierungshälfte zu der anzunehmenden Klassengrößenverteilung. Die Fehlquoten sind aber recht hoch, für Klasse 13 beträgt sie 35 % und für Klasse „Andere“ 43 %. Würde man die Klassenmodellierung nach dem Zufallsprinzip durchführen, so läge die Fehlquote bei je 50 %. Sie wird also mit dem Modell nur wenig verbessert.

cdKS^{il}.^{tsf}.^{ti}:

Diese große Einheit (495 ha) entfällt zu etwa 11 % auf Substratklasse 1, wobei sich die Anteile auf vier Substrat / Lagerungsklassen erstrecken (Tab. 20). Petrographisch treten Lydit (~Kieselgesteine), Tonschiefer und Kieselschiefer auf; somit ist eine teilweise Zuordnung zu Substrat 1 einzusehen.

- Substrat 1 gegen Andere (etwa je 5.000 Z)

Die Modellaufstellung ergibt folgende Variablenwahl (pR^2S): FLI-I (0.08), EXPSUMNAH (0.05). Ein Form-Lage-Index und eine Exponiertheitsvariable der näheren Umgebung werden herangezogen. Die Reklassifikations-*error rate* beträgt etwa 27 % für beide Klassen und ist somit deutlich günstiger als bei einer zufälligen Klassenausweisung.

Sodann wurden die Daten in einen Modellierungs- und Validierungssatz geteilt. Der erstgenannte besteht aus etwa je 1.700 Zellen. Folgende Variablen (mit pR^2S) gelangten in das Modell:

EXP8 (0.09), FLI-I (0.13), EUCTIEW (0.03), SLODIS17 (0.02), ASPWEST (0.06), EINSTRMOD (0.06).

Die Übertragung auf den Validierungssatz wurde wiederum mit *a-priori*-Annahmen beeinflusst. Für die Zielklasse Substrat 1 ist die Fehlquote mit 63 % hoch, für die Klasse „Andere“ mit 8 % recht gering. Diese Relationen sind allerdings nicht verwunderlich, da die Klasse „Andere“ im Validierungsdatensatz absolut sehr viel größer ist; sie nimmt etwa 85 % der Fläche ein. In Anbetracht der geringen Ausdehnung von Substrat 1 ist die Fehlquote nicht besonders schlecht, aber trotzdem nicht zufriedenstellend. Eine

visuelle Prüfung des Ergebnisses ergab durchaus akzeptable Verteilungen der Substrat-1-Bereiche, nämlich in den höchsten, teils flächigen, teils konvex gewölbten Bereichen der geologischen Einheit $\text{cdKS}^{\text{il}.\text{tsf}.\text{ti}}$.

Ein Problem bei der Zergliederung dieser geologischen Einheit ist die Einbeziehung der Substrat / Lagerungsklasse 16 und damit eines Standorts, der entgegen den Klassen 11 bis 15 eine feinbodenreiche Decke aufweist. Dies wird in Ansatz 3 berücksichtigt.

7.1.1.1.5 Exkurs: Substrat-1-relevante Einheiten im Bergland

Wegen der Datenlage sind Untersuchungen zu Substrat 1 anhand von Harzdaten anstatt von Berglanddaten durchgeführt worden. Das fast vollständige Fehlen von Substrat 1, „feinbodenärmste Decken“, in der Datenbasis läßt umgekehrt darauf schließen, dass in dieser Datenbasis keine Gesteine bzw. damit einhergehende Reliefsituationen vorliegen, die Substrat 1 hervorbringen. Trotzdem können natürlich im weiteren Bergland solche Gesteine bzw. Situationen vorkommen. Wie können sie identifiziert werden? Es bietet sich ein Arbeiten in den Blatt Schnitten der GK25 an, um eine gewisse Übersichtlichkeit herzustellen. In den analogen GK25 ist erkennbar, welche Einheiten die Höhenzüge (Stufen, Kuppen, Käme) bilden. Dies ist ein Indiz für Resistenz und somit das Ausbilden von feinbodenarmen Bereichen. Zusätzlich enthalten die GK25 zumeist einen idealisierten Schnitt der Mächtigkeiten der Schichten im Maßstab 1:10.000, der ebenfalls die Verwitterungsresistenz durch das Vorspringen bestimmter Schichten verdeutlicht. Die relevanten Einheiten werden somit abgreifbar.

Als kartenungebundener Katalog stratigraphischer und petrographischer Werte oder als Ergänzung der vorgenannten Quelle kann PREUSS et al. (1991) dienen. Unter den „Kieselgesteinen“ findet sich der Lydit (il), unter den quarzführenden Sedimenten der Quarzit (q), der Quarz-Sandstein (sq) oder gar der Quarzit-Sandstein (sqz). Unter den Tonsteinen und Schiefen fällt der Kieselschiefer (ti) als Substrat-1-relevante Einheit auf. Stratigraphische Orientierung bieten Begriffe der speziellen lithostratigraphischen Gliederung für Niedersachsen wie Oberrhät-Sandstein des Keuper oder Rötquarzit des Oberen Buntsandsteins. Es gibt also Möglichkeiten, mutmaßlich relevante Einheiten im Vorfeld einer Modellierung zuerst analog herauszufinden und dies danach je Kartenblatt digital nachzuarbeiten.

Zwischenergebnis Ansatz 1:

Nur bei wenigen geologischen Einheiten zeichnet sich ein Zusammenhang zu Substratklasse 1 ab. Wenn ein Zusammenhang besteht, erstreckt er sich zum Teil auch auf die Substrat / Lagerungsklassen. Auf bestimmten Gesteinen in Verbindung mit markanten Lagen ist das Vorkommen von Substrat 1 wahrscheinlich. Tendenzen sind zwar zu erkennen, aber umfassende, sichere Zuordnungen sind kaum durchführbar. Geomorphologische Variablen erlauben die Aufteilung in Substrat 1 und „Andere“.

Im übrigen ist zu hinterfragen, ob Substrat 1 überhaupt hergeleitet werden sollte. Dagegen spricht der Charakter des zugrundeliegenden Materials: Es ist so markant, dass es im Gelände sicher zur Klasse 1 zugeordnet werden kann. Insofern ist ein Modellvorschlag eigentlich überflüssig. Andererseits ist die Voraussetzung für das Kartieren dieser Klasse natürlich auch, solch ein Substratvorkommen zu entdecken. Wenn im Modell derartige Klassen nicht ausgewiesen würden und die Vorkommen absolut klein sind, könnten sie „übersehen“ werden, falls die analoge GK25 bei der Geländearbeit nicht ständig herangezogen wird. Dies spricht dafür, geologische Materialien, die eine gewisse Verbindung zu

Substratklasse 1 zeigen, herzuleiten und abzubilden. Ein Ignorieren dieser Standortklasse im Gesamtmodell wäre irreführend.

Wie sind die außerhalb des Berglandes gewonnenen Kenntnisse also praktisch verwendbar? Da in der Berglanddatenbasis Substrat 1 z. Zt. nicht vorkommt, muss

- erstens gutachterlich entschieden werden, ob ein Gestein Substrat 1 fördert
- zweitens, wie groß der Anteil von Substrat 1 innerhalb dieser geologischen Einheit ist und
- drittens, welches geomorphologisch basierte Modell die Verteilung im Raum bestimmt.

Arbeitet man, wie in diesem Abschnitt aus der Perspektive der geologischen Einheiten, ist folgender Vorschlag angebracht: Anhand *aller* Vorkommen von Substrat 1 außerhalb des Berglandes ist zuerst ein reliefbasiertes Modell zur Unterscheidung Substrat 1 – „Andere“ innerhalb *aller* für Substrat 1 relevanten geologischen Einheiten aufzustellen. Es beinhaltet Substrat 1 und „Andere“ zu gleichen Teilen. Es nutzt die Variablen, die sich als geeignet erweisen, auch für *einzelne* berglandtypische Gesteine bzw. geologische Einheiten, die mutmaßlich Klasse 1 fördern. Bei der Anwendung des Modells auf *einzelne* geologische Einheiten wird dann der Klassenanteil von Substrat 1 mit Hilfe von *a-priori*-Annahmen gesteuert und so justiert, dass eine anzunehmende Ausdehnung resultiert. Als Ausdehnung kann anfangs ein geringer Anteil von 20 % angenommen werden.

7.1.1.2 Ansatz 2: Statistische Herleitung der Substratklasse 1

Ansatz 1 arbeitete aus der Perspektive „Geologische Einheit → Zuordnung zu und Aufteilung in Substrat- und / oder Lagerungsklassen.“ Es ergaben sich Kenntnisse zu Substrat-1-relevanten Gesteinen, was nun genutzt wird. Ansatz 1 stellt also auch eine Vorarbeit zur Durchführung der Ansätze 2 bis 4 dar.

7.1.1.2.1 Informationslagen der „Anteile Substrat-1-relevanter Gesteine im Einzugsgebiet“

Die zehn geologischen Festgesteinseinheiten, die in Tab. 21 aufgeführt sind, wurden als Substrat-1-relevantes Gestein bezeichnet. Zusätzlich wurden solche Einheiten, in denen die petrographischen Kürzel C, X und G (Konglomerat, Steine, Kies) zusammen auftreten, als Substrat-1-relevant eingestuft. Es liegt folgender Gedanke zugrunde: Wenn Gestein mit bestimmten Eigenschaften am Ort oder im Einzugsgebiet einer Zelle vorkommt und die Reliefposition förderlich ist, liegt eine der Substrat / Lagerungsklassen, die zu Substrat 1 gehören, vor.

Über *grid*-Funktionen (ESRI 1991) kann bestimmt werden, wie groß der Anteil solcher Gesteine im Einzugsgebiet einer jeden Zelle ist. In Einzugsgebieten, die ausschließlich in solchen Gesteinen angelegt sind, beträgt der Wert 100 %, abseits 0 %. Es wurden einmal nur die oben umschriebenen Festgesteinseinheiten einbezogen, einmal hingegen die Fest- und Lockergesteinseinheiten. Sonst könnten nicht im selben Modellschritt die Klassen 11, 12 und 16 als Gruppe modelliert werden. Somit resultieren zwei ähnliche Variablen: SUB-1-ANTF und SUB-1-ANTFL. Vergleichbares wird bei der Erstellung von Variablen der „Intensitäten der Eigenschaften im EZG“ durchgeführt (7.1.4.1.12). SUB-1-ANTF und SUB-1-ANTFL wurden mit geomorphologischen Variablen (5.2.3) in ein Diskriminanzverfahren eingebracht. Durch die Informationslagen „Anteil Substrat-1-relevanter Gesteine“ sind Voraussetzungen erfüllt:

- Das Vorkommen derartiger Gesteine ist lokalisiert.
- Die potenzielle Beeinflussung einer Zelle durch derartige Gesteine im Einzugsgebiet ist integriert.

7.1.1.2.2 Modellaufstellung und Modellergebnis

- Substrat 1 gegen „Andere“ (Substrat 2, 3, 4, 5, 6, 7) (etwa je 7.600 Z)

Es wird versucht, die Gruppenklasse Substrat 1, d.h. den Zusammenschluß aller Lagerungsklassen 11 bis 16, gegenüber allen anderen Standorten zu modellieren. Dies könnte erfolgreich sein, weil für die Klassen 11 bis 16 immer das Kriterium der Feinbodenarmut einbezogen wird und somit eine Variable, die diese Eigenschaft beschreibt, eine Trennung ermöglichen sollte. Die Variablenwahl (Schwellenwerte pR^2E und pR^2S 0.02) fiel auf SUB-1-ANTF, EXP2 und FLI-I (pR^2S 0.34, 0.04, 0.06), also auf eine Variable des Anteils Substrat-1-relevanter Gesteine, einen Exponiertheitsindex und einen Form-Lage-Index. Dabei ist die erstgenannte Variable am bedeutsamsten. Die Fehlquoten sind mit 28 % (Substrat 1) bzw. 9 % bei Reklassifikation gut, was wegen der großen Bedeutung der Variablen SUB-1-ANTF nicht überrascht. Allerdings wird Substrat 1 in etwas zu geringer Ausdehnung ausgewiesen.

Bei der Aufteilung in ein westlich gelegenes Modellierungsgebiet mit gleicher Klassengröße von je 2.700 Zellen und ein östliches Validierungsgebiet fanden folgende Variablen Eingang in das Modell (pR^2S): SUB-1-ANTFL (0.33), EZGFFF (0.06), EXP2 (0.07), EUCKUPW (0.05), CTIF (0.05).

Am bedeutsamsten ist auch hier wieder die Anteilsvariable, gefolgt von einem Exponiertheitsindex und einer Einzugsgebietsvariable. Die Übertragung ergab eine Fehlquote von 77 % für Substrat 1 und von 2 % für die Klasse „Andere“. *A-priori*-Annahmen wurden so eingebracht, dass etwa 2 % der Fläche als Klasse 1 modelliert wurden; dies ist etwa so viel wie die Kartierung ausweist. Die Fehlquote ist sehr ungünstig. Allerdings ist es bei absolut kleinen Zielklassen besonders schwierig, weitreichende Kongruenz herzustellen. Das Ergebnis ist auch graphisch zu beurteilen:

Die modellierten Flächen der Klasse 1 liegen immer in Bereichen hoher Werte der Variablen SUB-1-ANTFL, was der Intention der Verwendung dieser Variablen entspricht. Auffällig ist eine Verteilung in recht viele mittelgroße Flächen, die zumeist „oben“ liegen, also in einer Position, an der sie zu erwarten sind. Kleine Flächen treten aber auch an Hangfüßen auf, wo sie insofern nicht unwahrscheinlich sind, als dass dort die Substrat / Lagerungsklasse 13 oder 16 plausibel ist.

Zwischenergebnis Ansatz 2:

Eine Modellierung der aggregierten Substratklasse 1 ist numerisch beurteilt mit einem kleinen Basisdatensatz nicht zufriedenstellend durchzuführen, wohl aber nach nur kartographischer Beurteilung.

Im übrigen ist es nicht zutreffend, dass eine Substratklasse leichter zu modellieren ist als eine Substrat / Lagerungsklasse. Der Grund ist die unterschiedliche Zusammensetzung der Materialien und deren Abfolge der einzelnen Substrat / Lagerungsklassen, die in einer Substratklasse zusammengefaßt werden (Tab. 3 und Tab. 18). Insofern verwischt die Substratklasse die Eigenschaften und Kriterien, die in den Substrat / Lagerungsklassen erkennbar sind und diese Klasse(n) bestimmen. Besonders auch hier, wo die Klasse 16 gewissermaßen das Bindeglied zwischen Substrat 1 und den anderen Substratklassen (2 bis 7) darstellt, ist eine Modellierung der Klasse 1 in ihrer Gesamtheit schwierig, wenn das Unterlagernde unbekannt ist. In der Grenzbereichsdefinition zu Klasse 16 wird darauf hingewiesen, dass dieser Standort mit Standort 23 (3-7 dm mächtige verlehnte Decken über basenarmen Gestein) verwechselt werden kann. Deshalb wurde versucht, die einzelnen Substrat / Lagerungsklassen 11 bis 16 bzw. ihre Eigenschaften separat („zergliedert“) zu modellieren. In dieser Modellsituation ist das Vorkommen der Flächen aller anderen Substrate (2 bis 7) noch unbekannt. D.h., es ist zwar auch die Unterscheidung innerhalb

Substratklasse 1 angestrebt, aber vordringlich ist die Unterscheidung Substrat 1 – „Andere“. Eine vorgeschaltete Ausweisung der Lagerungsklassen könnte ein Weg dorthin sein.

7.1.1.3 Ansatz 3: Statistische Herleitung der Lagerungsklassen 11 – 16 nach Profilaufbau

Konform dem Prinzip, dass später hinsichtlich der Substrat / Lagerungsherleitung für die Substratklassen 2 bis 7 angewendet wird (7.1.5), ist ein dritter, zergliedernder, „profilbezogener“ Ansatz getestet worden. Tab. 3, Tab. 18 und Tab. 22 zeigt eine Vierteilung innerhalb der Substratklasse 1:

- Lagerung 11 stellt einen einschichtigen Boden dar. Felsen, Blöcke, Schotter, Gerölle oder Kiese bauen das gesamte Profil auf.
- Lagerung 12 stellt einen zumeist einschichtigen oder höchstens geringmächtigen zweischichtigen Boden dar. Entweder besteht das Profil hauptsächlich aus der Grobbodenfraktion oder es ist eine geringmächtige Decke vorhanden.
- Lagerung 13, 14, 15 sind von feinbodenarmen Decken, die bestimmte Gesteine überlagern, bestimmt.
- Lagerung 16 weist die ausschlaggebende feinbodenarme Schicht „unten“ auf, darüber liegt eine nennenswerte feinbodenreichere Schicht. 16 ist gewissermaßen ein „überdeckter“ Standort 12.

Eine besondere Klasse ist, wie auch in Ansatz 1 erwähnt, die Klasse 16, da hier feinbodenarmes Material durch eine feinbodenreichere Schicht überlagert wird. Woraus besteht das Unterlagernde der Klasse 16? Es kann sowohl solch ein verwittertes, resistentes Festgestein wie bei Klasse 11 und 12 sein. Es kann sich aber auch um fluvial umgelagertes Lockermaterial (Geröll im Talboden) handeln. Wenn eines von beiden hergeleitet werden kann, so ist das Profil der Klasse 16 weiter durch eine feinbodenreiche Decke, wie auch bei Lagerungsklassen der anderen Substrate (2, 4, 5, 6), zu bestimmen. Es besteht also nicht das Problem, Klasse 16 schlecht von „Anderen“ trennen zu können, wenn das charakteristische unterlagernde, feinbodenarme Gestein bekannt ist.

Die standörtlich und modelltechnisch bedingte Zusammenfassung bzw. Zergliederung der sechs Lagerungsklassen ist in Tab. 22 verdeutlicht.

Tab. 22: Schichtbezogene Merkmale der Substrat / Lagerungsklassen 11 bis 16.

SUBLAG	11	12	12	13 14 15	16	16
1. Schicht	extrem feinbodenarm	feinboden- arm, fest	feinbodenarme Decke	feinbodenarme Decke	feinbodenreiche Decke	feinbodenreiche Decke
2. Schicht	fest	fest	feinbodenarm, fest	Unterlagerndes, fest	feinbodenarm, fest	feinbodenarm, locker

Die bedeutenden Unterschiede der Substrat / Lagerungsklassen innerhalb Substrat 1 sind demnach:

- Feinbodenarmut tritt (fast) durchgängig auf: 11, 12
- Feinbodenarmut tritt schichtbezogen auf: 13, 14, 15, 16
- Feinbodenarmut bezieht sich auf die Decke: 13, 14, 15
- Feinbodenarmut bezieht sich auf das Unterlagernde: 16

Um das Gefüge aus Decke und Unterlagerndem systematisch herleiten zu können wurden einige Prämissen, die die Modellierungsgrundlage bilden, definiert (vgl. Tab. 22 und Tab. 3):

- a 12: Ein ähnlicher, aber weniger extremer Standort als Klasse 11
- b 13 – 15: Auflagerndes besteht bodenchemisch aus beliebigem, aber feinbodenarmen Material
- c 13 – 15: Auflagerndes entstammt dem Unterlagernden oder ist lateral herangeführt
- d 13 – 15: Auflagerndes ist geologisch und geomorphologisch bestimmt
- e 13: Steht allgemein für eine Lokalität, an der die auflagernde Decke so beschaffen ist, dass dort die Klassen 13, 14 oder 15 vorliegen könnten
- f 13 – 15: Unterlagerndes Festgestein kann anhand der GK25 hergeleitet werden (7.1.3 und 7.1.4)
- g 16: Unterlagerndes besteht aus dem Material wie 11 oder 12 oder aus Flußterrassenmaterial

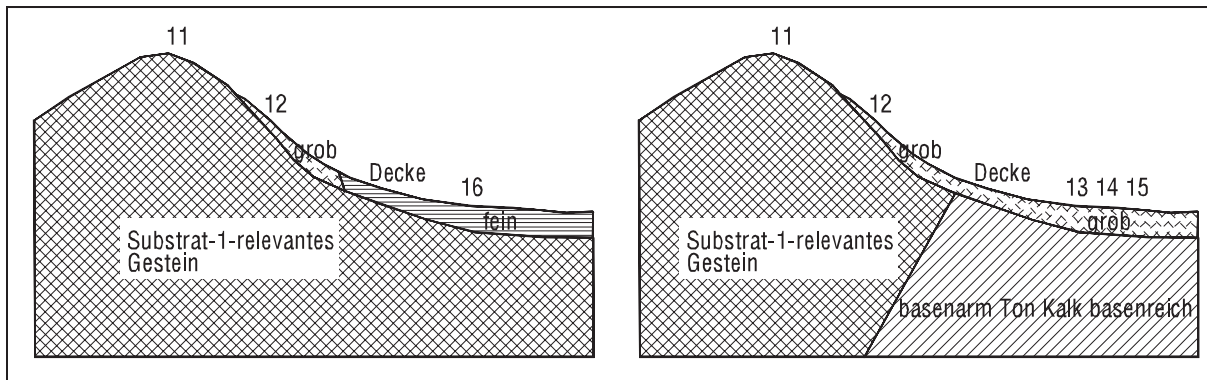


Abb. 36: Angenommene Position der Lagerungsklassen 11 bis 16 im idealisierten Relief und Profil und Verdeutlichung der Kriterien Mächtigkeit, Zusammensetzung und Schichtigkeit. Längen, Höhen und Deckenmächtigkeit nicht proportional.

- MN 1, Schritt 1: Substrat / Lagerung 11U12U16 gegen 13UAnderer (etwa je 6.000 Z):

Da bei den Lagerungsklassen 21 bis 74 das Unterlagernde ein Festgestein ist, das Substrat 1 nicht fördert oder gar erzwingt und dies bei Klasse 13 (und auch bei 14 und 15) ebenso der Fall ist, wird zuerst aus diesen Klassen eine Gruppe gebildet und versucht, sie von den Klassen 11, 12 und 16, ebenfalls als Gruppe betrachtet, zu trennen. Klasse 13 steht hier stellvertretend für 13U14U15:

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SUB-1-ANTF		0.37	0.26				
2	2	HOEDIF		0.05	-				
3	3	EXP2		0.05	0.06				
4	4	EUCKUPW		0.03	-				
5	5	EZGFFW		0.03	0.08				
6	6	EZGFFL		0.03	0.14				
7	5		HOEDIF	-	-				
8	4		EUCKUPW	-	-				
9	5	EZGFFF		0.04	0.04	0.53	0.47	19	

Fünf Variablen werden im ersten Schritt genutzt. Wie zu erwarten ist diejenige, die die Anteile Substrat-1-relevanter Gesteine im EZG ausdrückt, recht bedeutsam (pR²S 0.26). Desweiteren machen Einzugsgebietsvariablen und der Exponiertheitsindex EXP2 das Modell aus. Die Fehlquote ist bei Reklassifikation 24 % für die Gruppenklasse aus 11, 12 und 16 und 13 % für die „Anderen“. Dies läßt vermuten, bei unabhängiger Modellaufstellung und -übertragung zu akzeptablen Ergebnissen zu gelangen.

Bei Aufteilung der Daten in eine westliche Modellierungshälfte und eine östliche Validierungshälfte (etwa je 2.600 Z) ergibt sich die Variablenauswahl (mit Schwellenwert pR^2E und pR^2S 0.025):

SUB-1-ANTFL (0.21), EZGFFF (0.03), EZGFFFW (0.06), EZGFFFL (0.10), EXP2 (0.10), EUCKUPW (0.04).

Wie zu erwarten ist die Anteilsvariable SUB-1-ANTFL am wichtigsten, gefolgt von der Exponiertheit EXP2 und einer Einzugsgebietsvariable EZGFFFL. Drei weitere Variablen ergänzen das Modell. *A-priori*-Annahmen dienten nun zur Steuerung der absoluten Klassengröße bei Übertragung, so dass die Zielklassengröße etwa der kartierten bzw. anzunehmenden Größe entsprach. Die Fehlquote für Gruppenklasse 11, 12 und 16 beträgt bei Übertragung auf den unabhängigen Validierungsdatensatz 75 %, diejenige für „Andere“ 2 %. Beide Klassen sind allerdings nicht „endgültige“ Klassen, sondern nur Gruppenklassen, die weiter zergliedert werden müssten, um Lagerungsklassen und somit auch die Substratklasse 1 als Ganzes abzubilden. Die geringe Modellgüte für die Gruppenklasse 11U12U16 läßt aber bereits darauf schließen, dass das angedachte Modell unsicher ist. Insofern dienen die nächsten zwei Schritte nur dazu, die Eignung bestimmter Variablen im Gesamtkontext der Beschreibung von Klasse 1 beurteilen zu können, nicht aber dazu, ein durchgängiges, etabliertes statistisches Modell aufzustellen.

- MN 2, Schritt 2: Substrat / Lagerung 13 gegen Andere (~ nicht Substrat 1) (etwa je 6.000 Z):

Im zweiten Schritt wird versucht, eine feinkbodenarme Decke (13) von Standorten mit anderen Decken zu trennen. In Tab. 3 wird Lagerungsklasse 13 mit „3-7 dm, unverlehmt“ definiert; eine demgegenüber andere Decke ist z.B. die der Klasse 23 („3-7 dm, verlehmt“).

Zwei Variablen werden ausgewählt: SUB-1-ANTFL und FLI-IL (pR^2S 0.74 und 0.04). Beide Variablen sind plausibel, denn dass die grobbodenreichen Decken im Bereich hoher Anteile von Substrat-1-relevanter Gesteine vorkommen und die Lage solcher Decken durch die Reliefposition bestimmt wird, war anzunehmen. Bei Reklassifikation ergibt sich eine geringe Fehlquote von nur 9 % für Klasse 13 und 3 % für Andere. Das extrem hohe und somit günstige pR^2S der Variablen SUB-1-ANTFL und auch die Reklassifikationsergebnisse täuschen aber über die Modellierbarkeit von Lagerung 13 hinweg, weil in dieser Situation keine separate Modellaufstellung und Übertragung auf eine Validierungsgebiet beschrieben wird, sondern zunächst nur eine Diskrimination innerhalb des gesamten Datenpools. Aus zuvor genannten Gründen ist eine separate Modellaufstellung und Übertragung nicht angebracht.

Nun ist im Prinzip festgelegt, wo entweder die Lagerungsklassen 11U12U16 oder 13 oder die Substratklasse „Andere“ vorliegen. Damit wäre das Vorkommen der Substratklasse 1 ebenso definiert.

- MN 3, Schritt 3: Substrat / Lagerung 11 gegen 12 und gegen 16 (etwa je 1.800 Z):

Schließlich kann eine Dreiteilung zwischen Lagerungsklassen, die zu Substratklasse 1 gehören, versucht werden. Damit eine engere Auswahl von Variablen resultierte, wurden die Schwellenwerte pR^2E und pR^2S von 0.02 auf 0.04 erhöht:

Step	In	Entered	Removed	pR^2E	pR^2S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EZGFFFW		0.12	0.10				
2	2	FLI-I		0.10	0.15				
3	3	FLI-IL		0.09	0.08				
4	4	EINSTRMOD		0.07	0.07				
5	5	EUCTIEW		0.05	0.05	0.64	0.20	40	

(Hinweis: pR^2 entry und pR^2 stay 0.04)

So treten fünf Variablen im Modell auf; die Variablen des „Anteils Substrat-1-relevanter Gesteine“ fehlen. Dies ist einzusehen, weil bei den Lagerungsklassen 11, 12 und 16 das Unterlagernde bereits aus solchem Gestein aufgebaut wird. Es dient also nicht zur Differenzierung. Am bedeutsamsten ist FLI-I, ein Form-Lage-Index. Es folgt EZGFFW und darauf der logarithmierte Form-Lage-Index FLI-IL.

Zwischenergebnis Ansatz 3:

Die Ausweisung der Lagerungsklassen 11 bis 16 und somit auch der Substratklasse 1 ist mit großen Unwägbarkeiten behaftet. Dies kann mit den modellbestimmenden Eigenschaften der Klassen aber auch mit der wenig umfangreichen Datenbasis zusammenhängen. Das übergeordnete Ziel ist, für das Bergland Aussagen zu treffen. Für das Bergland lagen aber sehr wenige Substrat-1-Standorte vor. Deshalb wurde anhand von Daten des Harzes argumentiert. Es ist aber kaum anzunehmen, in einer vergrößerten Berglanddatenbasis eine bessere Grundlage zur Modellierung der Substratklasse 1 vorzufinden, was von der standörtlich bedingten Seltenheit abhängt. Nach WACHTER & STÜBER (2002) sind die Standorte der Substratklasse 1 im niedersächsischen Bergland sehr selten. In den durch größere Gewässer angelegten Terrassenbereichen der Werra und Weser, daneben auch im Harz, kann sich Lagerungsklasse 16 ausbilden. Ansonsten müssen petrographisch bedingte Resistenz und eine herausgestellte geomorphologische Situation zusammentreffen, um die Lagerungsklassen 11 bis 15 hervorzubringen. Extremste Standorte (11) und die anderen Standorte (12, 13, ..., 16) werden etwa zu gleichen Teilen auftreten. Die Bedeutung erstens der Gesteinsresistenz und zweitens der geomorphologischen Situation ist unstrittig. Daher könnten die anhand des Harzes weitgehend statistisch gewonnenen Kenntnisse und das gutachterliche Wissen zu Klasse 1 regelhaft eingesetzt werden. Ein Vorschlag, Ansatz 4, wird dazu formuliert.

7.1.1.4 Ansatz 4: Regelbasierte Herleitung der Lagerungsklassen 11 – 16 nach Profilaufbau

Die drei zuvor beschriebenen Ansätze sind nicht sonderlich erfolgversprechend. Trotzdem konnten Tendenzen erkannt werden. Es wurde deutlich, dass bestimmte Variablen zur Ausweisung von Substrat 1 und seinen Lagerungsklassen geeignet sind. Zuvorderst ist die Information zu den Anteilen der Substrat-1-relevanten Gesteine zu nennen. Desweiteren sind einige geomorphologische Variablen, wie Form-Lage-Indizes und Exponiertheitsindizes aufgefallen. Auch Variablen der Einzugsgebietsgröße sind zu verwenden. Diese Kenntnis wurde in ein Regelwerk eingebaut. Es wird umschrieben, nicht programmtechnisch formuliert (vorgeschaltete Regeln dominieren nachgeschaltete):

- Wenn der Anteil Substrat-1-relevanter Gesteine hoch ist, die Exponiertheit sehr hoch ist, ein Form-Lage-Index eine sehr offene Lage beschreibt und die Einzugsgebietsgröße sehr gering ist, → 11.
- Wenn der Anteil Substrat-1-relevanter Gesteine hoch ist, die Exponiertheit hoch ist und ein Form-Lage-Index eine offene Lage beschreibt, → 12.
- Wenn der Anteil Substrat-1-relevanter Gesteine sehr hoch ist, die Exponiertheit höchstens mittelgroß ist und ein Form-Lage-Index eine wenig offene Lage beschreibt, → 16.
- Wenn der Anteil Substrat-1-relevanter Gesteine recht hoch aber nicht gleich 100 % ist, → 13 (14, 15).

Damit werden folgende Variablen verwendet: SUB-1-ANTF, EXP210, FLI-IL, EZGFFFL. Das Ergebnis der Anwendung dieser Regeln wird in Abb. 37 verdeutlicht. Dort ist auch die Variable „Anteil Substrat-1-relevanter Gesteine“ gezeigt. Durch die großzügige Einordnung bestimmter Gesteine als „Substrat-1-relevant“ ist der Bereich hoher Anteile dieses Merkmals groß (hell) und dadurch auch das Vorkommen

der Klassen 11 bis 16 relativ groß. Im Prinzip ist zu erkennen, dass „oben“ Klasse 11 vorliegt, nach unten 12 anschließt, vereinzelt und tiefer gelegen 13 auftritt und in Senken 16 ausgewiesen wird. Dies ist in Anbetracht der aus dem GÖS abgeleiteten Vorstellung (Abb. 36, Tab. 22) akzeptabel.

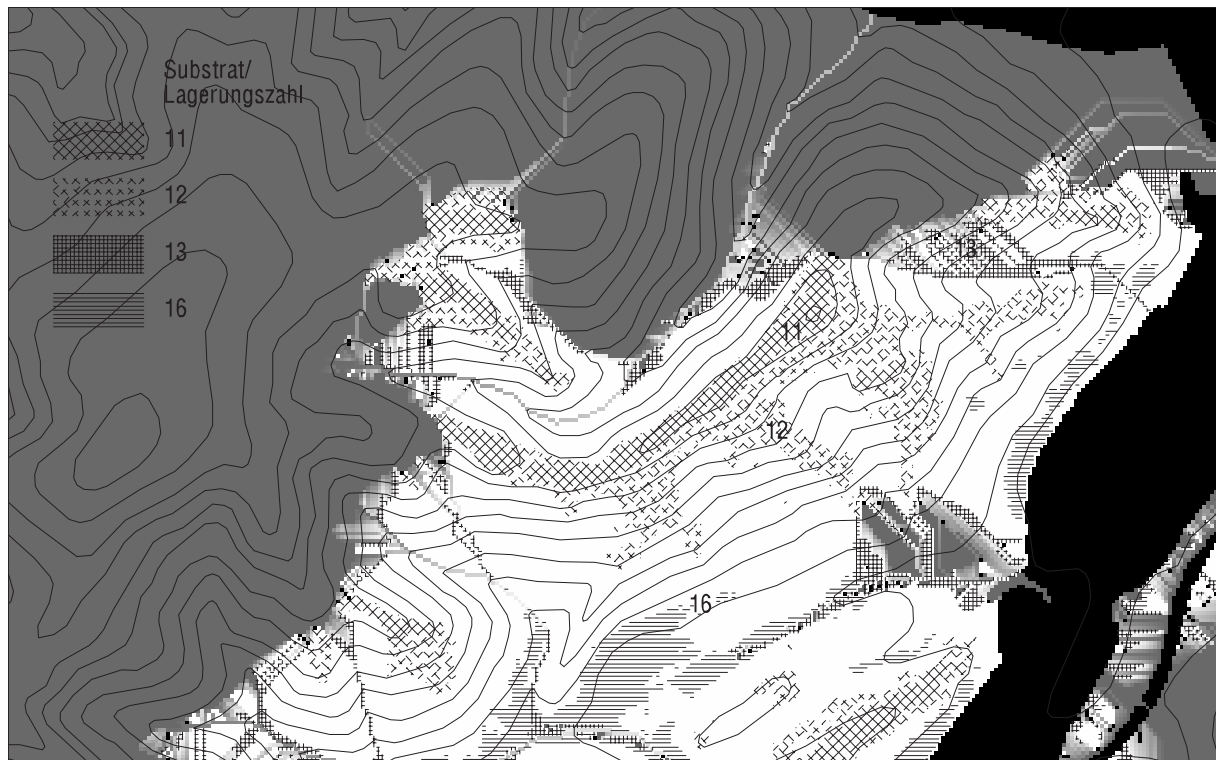


Abb. 37: Modellierte Substrat / Lagerungsklassen der Substratklasse 1, Ansatz 4. Schwarz ~ kein Waldbereich, hell ~ hohe Werte der Variablen „Anteil Substrat-1-relevanter Gesteine“, dunkel ~ geringe Werte. Maßstab 1:20.000. Ausschnitt 3587500 5754700 3590700 5756700. 20 m Äquidistanz.

Ergebnis Substratklasse 1:

Merkmal	Ansatz 1	Ansatz 2	Ansatz 3	Ansatz 4
GK25-einheitenspezifisch	ja	nein	nein	nein
SUB-1-ANTF *	nein	ja	ja	ja
schichtbezogen	nein	nein	ja	ja
statistisch	ja	ja	ja	nein
regelbasiert	nein	nein	nein	ja

* Zusammenfassung Substrat-1-relevanter geologischer Einheiten und Einsatz der Variablen SUB-1-ANTF.

Die vorherige Übersicht stellt abschließend die Unterschiede der vier Ansätze dar. Ansatz 4 erscheint am leichtesten umsetzbar, sofern eine zu geringe Berglanddatenbasis die Verwendung von Ansatz 3 verhindern würde. Eine Kombination aus GK25-abhängigen und geomorphologischen Variablen erscheint am sinnvollsten. Beide Ansätze sind dem Verfahren zur Herleitung anderer Lagerungsklassen der Substrate 2 bis 7 ähnlich, weil sie schichtbezogen arbeiten. In Abschnitt 7.3.7 wird im Zusammenhang der Herleitung von Wasserhaushaltsklassen innerhalb von GFO-Klasse Rücken noch einmal auf Lagerungsklassen der Substratklasse 1 eingegangen. Substrat 1 und ihre Lagerungsklassen sind nun hergeleitet (Status 1), die Ausweisung anderer Klassen kann folgen.

Status 1	Standortkomponente	Klassen	
	Substrat (Substrat / Lagerung)	1 (11 – 16)	Andere

7.1.2 Substratklassen, hergeleitet anhand geomorphologisch-geländeklimatischer Variablen

Im folgenden werden drei Ansätze zur Trennung dreier Substratklassen „Festgesteine“, „Lössе und ähnliche feinkörnige Sedimente“ und „Kolluvien/Alluvien“, vorgestellt: Ansatz 1 wird in vier Vorgehen (A, B, C, D) gegliedert. Die darauf basierenden Kenntnisse werden bei Ansatz 2 und 3 verwendet.

7.1.2.1 Ansatz 1: Modell auf ideeller Datenbasis

Da die beiden Substratklassen 3 (Lössе) und 7 (Kolluvien/Alluvien) entgegen den Klassen 1, 2, 4, 5 und 6 durch Lockermaterialvorkommen bestimmt sind, liegt es nahe, sie durch geomorphologische Variablen von den anderen Klassen in einem separaten Modell zu trennen. Die Klasse 1 „Feinbodenärmste Decken“ kommt in so geringer Ausdehnung von 5 ha in dem Gesamtdatensatz für das Bergland vor, dass sie anhand berglandfremder Daten bearbeitet wurde (0). Es bilden nur die Klassen 2, 4, 5 und 6 den sog. „Festgesteinsbereich“. Dies ist gerechtfertigt, weil der Bereich durch die vorgenannten häufigen Klassen repräsentativ für das Niedersächsische Bergland modelliert werden kann.

Es ergibt sich also eine Substrat-Dreiteilung: Lössе – Kolluvien/Alluvien - „Andere“. Welche Trennungsreihenfolge die erfolgversprechendste ist muss anhand von modellierten absoluten Klassengrößen und Fehlquoten des Modellierungsdatensatzes festgestellt werden.

Vorgehen A:

- Schritt 1: Substrat 7 „Kolluvien/Alluvien“ gegen „Andere“ incl. Substrat 3 (etwa je 28.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCHANG		0.51	0.27				
2	2	FLI-IL		0.13	0.08				
3	3	EUCKUPW		0.05	0.05				
4	4	SLOF		0.03	0.04				
5	5	EINSTRMOD		0.03	0.03	0.38	0.62	7	

Die relative euklidische Position am Hang EUCHANG ist am bedeutsamsten (pR²S 0.27), gefolgt von dem Form-Lage-Index FLI-IL. Die Distanz zur Kuppe (EUCKUPW) und die Neigung (SLOF) ergänzen das Modell, außerdem noch eine Einstrahlungsvariable (EINSTRMOD), deren Bedeutung schwer zu interpretieren ist. Die *error rate* bei Reklassifikation beträgt 7 %, ist also günstig. Dies gilt vor allem, weil gleichzeitig auch die absolute Ausdehnung der Klasse 7 gegenüber der Kartierung kaum vergrößert wird.

- Schritt 2: Substrat 3 „Lössе“ gegen „Andere“ excl. Substrat 7 (etwa je 36.000 Z):

Sobald die Klasse 7 „Alluvien“ modelliert ist, bleibt für den Restraum nur die Trennung der Klasse 3 von den aktuellen Restklassen (2, 4, 5, 6). Die Gesamtdatenbasis erlaubt eine Zusammenstellung von zweimal etwa 36.000 Zellen und Klasse „Andere“ besteht daher aus je etwa 9.000 Zellen der Substrate 2, 4, 5 und 6, also den „Festgesteinsbereichen“. Die Variablenwahl, hier mit pR²S 0.015 statt 0.02, ergibt:

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLODIS17		0.13	0.09				
2	2	PATLENF		0.07	0.05				
3	3	CTIF		0.02	0.02	0.80	0.20	40	SUB 3 zu gering ausgedehnt

SLODIS17 ist laut pR²S die bedeutsamste Variable, um die Lössе von den Festgesteinsbereichen zu trennen. Es folgen etwa mit gleicher Bedeutung ein Hanglängenparameter (PATLENF, 0.05) und der *compound topographic index* (CTIF). Das Gütemaß ASCC 0.20 ist gering, aber die korrespondierende *error rate* ist mit 40 % bei Reklassifikation des Parametrisierungsdatensatzes nicht schlecht, wenn man bedenkt, dass hier fast 20 % weniger Substrat 3 modelliert als vorgegeben wurde.

Vorgehen B:

- Schritt 1: Substrat 3 „Lösse“ gegen „Andere“ incl. Substrat 7 (etwa je 43.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLODIS17		0.13	0.13				
2	2	PATLENF		0.03	0.04				
3	3	EZGFFF		0.03	0.03	0.82	0.18	44	SUB 3 zu gering ausgedehnt

Die Gütemaße dieses Trennversuches sind: ASCC 0.18 und *error rate* 44 % bei Reklassifikation bezogen auf den DB_I-1-Datensatz. Dabei ist die Variable SLODIS17 (0.13) am bedeutsamsten. Da etwa 20 % weniger Fläche der Klasse 3 modelliert wird als kartiert wurde, ist die *error rate* von 44 % zwar nicht als sehr schlecht zu bezeichnen, aber sie ist bei weitem nicht überzeugend.

- Schritt 2: Substrat 7 „Kolluvien“ gegen „Andere“ excl. Substrat 3 (etwa je 28.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCHANG		0.53	0.28				
2	2	FLI-IL		0.13	0.07				
3	3	EUCKUPW		0.05	0.04				
4	4	SLOF		0.04	0.06				
5	5	EINSTRMOD		0.03	0.03	0.36	0.64	11	

Die *error rate* für Klasse 7 beträgt 7 %, die für die Klasse „Andere“ excl. Lösse 14 %. Die günstigen Werte sind nicht verwunderlich, da zwei Klassen voneinander diskriminiert werden, die nach Kartenbild leicht zu trennen sind: Die „ausmittelnde“ Klasse 3 „Lösse“ ist aus dem Datensatz verbannt.

Auffällig ist der hohe Beitrag der Variablen EUCHANG (pR²S 0.28): Substrat 7 tritt tendenziell im relativ unteren Hangbereich auf. An zweiter Stelle rangiert hier der Form-Lage-Index FLI-IL, gefolgt von drei ergänzenden Variablen, nämlich der Distanz zur Kuppe (EUCKUPW), der Neigung (SLOF) und einem Einstrahlungsindex (EINSTRMOD). Die Kolluvien liegen danach in unteren Reliefpositionen.

Vorgehen C:

In der ersten Modellierungssituation gibt es insgesamt nur drei auszuweisende Klassen: Substrat 3, 7 und „Andere“. Die Klasse „Andere“ ist genau wie Substrat 3 und 7 eine homogene Einheit, denn sie weist andere Charakteristika auf als 3 oder 7. Insofern kann vernachlässigt werden, dass sie genau genommen aus den einzelnen Substratklassen 2, 4, 5 und 6 besteht. Da die beiden Substratklassen 3 und 7 Lockermaterialbereiche darstellen, kann auch ein drittes Vorgehen, C, erfolgreich sein. Entgegen dem in dieser Arbeit üblichen Vorgehen fasst es zwei Klassen im ersten Schritt als Einheit auf (3 und 7) und stellt diese der großen Gruppe der „Anderen“ gegenüber. Dieses Vorgehen wurde wie folgt getestet:

- MN 4, Schritt 1: Substrat 3 „Lösse“ und 7 „Kolluvien“ gegen „Andere“ (etwa je 34.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EZGFFFL		0.21	0.05				
2	2	SLODIS17		0.10	0.13				
3	3	EUCHANG		0.08	0.08	0.66	0.34	19	

Drei Variablen sorgen für die Positionierung der Löss- und Kolluvien in den relativ weit unten liegenden (EUCHANG), relativ weit von größeren Neigungen entfernten (SLODIS17) und mit relativ großen EZG ausgestatteten (EZGFFL) Bereichen, was sinnvoll ist. Die *error rate* bei Reklassifikation ist für die Gruppenklasse Substrat 3U7 in diesem ersten Schritt 29 %, für die Klasse „Andere“ liegt sie bei etwa 8 %. Darin könnte später die Trennung von Substraten der Festgesteinsbereiche 2, 4, 5 und 6 erfolgen. Diese vier Klassen sind geomorphologisch nicht direkt trennbar, sondern können nur über den Umweg der Lagerungsherleitung unter Einbezug der GK25-Information ausgewiesen werden (7.1.3 und 7.1.4). Im nächsten, zweiten Schritt muss zwischen Substrat 3 und 7 unterschieden werden.

- MN 5, Schritt 2: Substrat 3 „Löss“ gegen 7 „Kolluvien“ (etwa je 17.500 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCTIEW		0.44	0.07				
2	2	FLI-IL		0.14	0.10				
3	3	FLI-L		0.03	0.07				
4	4	SLODIS9		0.06	0.06	0.44	0.56	13	SUB 7 etwas zu weit ausgedehnt

Die *error rate* der Reklassifikation beträgt 19 % für Klasse 3 und nur 7 % für Klasse 7, wobei allerdings Klasse 7 absolut betrachtet etwas zu häufig modelliert wird. Der Form-Lage-Index FLI-IL ist am bedeutsamsten. Die Distanz zur Tiefenlinie (EUCTIEW) und ein weiterer Form-Lage-Index sind etwa gleichermassen wichtig (pR²S etwa 0.07) und werden durch die Distanz zu Bereichen schwacher Neigung (SLODIS9) ergänzt.

Vergleich der drei Modellierungsreihenfolgen in Vorgehen A, B und C:

Tab. 23 zeigt die klassenspezifischen Ergebnisse getrennt nach Fehlquote und absoluter Ausdehnung der Modellklassen im Modellierungsdatensatz. Positionen der Tabelle, die mit (x) belegt sind, konnten freigelassen werden, da die berechneten Werte keine Aussage über endgültige Modellierungsgüte machen, denn sie beziehen sich jeweils nur auf eine Klassengruppe, die weiter zu zerlegen ist.

Interessant ist das Teilergebnis, dass die Klasse 7 Kolluvien bei den drei Vorgehen A, B und C jeweils mit gleicher Modellgüte erfolgt: 7 % *error rate* resultiert in Kombination mit einer absolut etwas zu weitgehenden Ausweisung dieser Klasse.

Tab. 23: Fehlquoten der Modellierung der Substrate 3, 7 und „Andere“ bei Vorgehen A, B, C und D, Ansatz 1.

Vorgehen	Schritt	Substrat		<i>error rate</i> %		Absolute Ausdehnung	
A	1	7	Andere incl. 3	7	(x)	etwas zu viel	(x)
	2	3	Andere excl. 7	40	20	etwas zu wenig *	etwas zu viel
B	1	3	Andere incl. 7	44	(x)	zu wenig	(x)
	2	7	Andere excl. 3	7	14	etwas zu viel	etwas zu wenig
C	1	3U7	Andere	(x)	8	(x)	etwas zu viel
	2	3	7	19	7	etwas zu wenig	etwas zu viel
D	0	-	Andere	-	24	-	etwas zu viel
	0	3	7	49	16	(etwas) zu wenig	(etwas) zu viel

* „etwas zu wenig“ bedeutet z.B., dass 17.000 Zellen kartiert, aber nur 15.000 modelliert wurden.

Vorgehen B ist nicht geeignet, da die flächenmäßig wichtige Klasse 3 „Löss“ unzureichend modelliert wird. Dies wird auch nicht durch die Modellgüte für die Klasse „Andere“ aufgewogen. Insofern müssen nur die Vorgehen A und C weiter bezüglich Klasse 3 und „Andere“ verglichen werden: Klasse 3 wird in beiden Fällen etwas zu wenig ausgewiesen, in Fall C ist die *error rate* mit 19 % deutlich besser als in A

mit 40 %. Die Klasse „Andere“ wird in beiden Fällen etwas zu weitreichend modelliert, die Fehlquote ist bei C mit 6 % besser als bei A (20 %). Somit spricht alles für die Reihenfolge des Vorgehens C.

Vorgehen D: Synchroner Modellierung

Wenn alle drei Substratklassen 7, 3 und „Andere“ zugleich modelliert werden, also kein zweischrittiges Vorgehen angewandt wird, so sind die *error rates* je Klasse ungünstiger als in Vorgehen C, was bis zu diesem Punkt als das günstigste Vorgehen angesehen wird. Vor allem ist die Fehlquote bei den Lössen mit 49 % gegenüber 19 % deutlich schlechter, aber auch bei den anderen Substraten gilt ähnliches (24 % zu 8 % und 16 % zu 7 %). Dies ist ein Beispiel dafür, dass eine Zerlegung der Modellierung bezüglich der einzelnen Klassen zu günstigeren Ergebnissen führt (6.1.5).

Die ausgewählten Variablen der synchronen Modellierung waren in der Reihenfolge ihrer pR^2S -Werte: EUCTIEW (0.10), SLODIS17 (0.10), FLI-IL (0.09), EZGFFFL (0.06), FLI-I (0.04), SLOF (0.03), PATLENF (0.02).

Die euklidische Distanz zur Tiefenlinie und die Distanz zu Flächen mit größerer Neigung sind dabei am bedeutungsvollsten, auffällig ist weiter das zweimalige Auftreten von Form-Lage-Indizes (FLI-IL, FLI-I). Eine Einzugsgebietsvariable, die Neigung selbst und eine Hanglängenvariable ergänzen das Modell. Vier der genannten Variablen waren auch in den zwei Schritten des Vorgehens C verwendet worden. Insofern ist selbstredend eine Ähnlichkeit der Vorgehen bzw. der Modelle gegeben. Sie führt aber nicht dazu, das einfachere zu handhabende synchrone Modelle anzuwenden, da es weniger differenzierend arbeitet.

Die propagierte, übergeordnete Vorgehensweise in dieser Arbeit ist allerdings, immer diejenige *einzelne* Klasse, die in einer Situation am besten von den anderen Klassen zu trennen ist, zu modellieren (6.1.6). Bei Vorgehen C wurden demgegenüber zuerst zwei bzw. vier einzelne Substratklassen gruppiert und die Gruppenklassen versucht zu trennen. Diese leichte Abwandlung ist deshalb gerechtfertigt, weil man die Substrate 3 und 7 wegen ihrer räumlich-standörtlichen Vergesellschaftung auch als Einheit (3U7) auffassen kann. Insofern überrascht es nicht, Vorgehen C als das günstigste festzustellen. Nach Beurteilung der Reklassifikationsgüten ist der Modellierungsgang:

Status 2	Standortkomponente	Klasse			
	Substrat	1	3 U7	Andere	
Status 3	Standortkomponente	Klasse			
	Substrat	1	3	7	Andere

Um diesen Verlauf der Modellierung als den günstigsten festzustellen, wurden allerdings alle Alternativen bis zum Ende der Klassenausweisung berechnet und abschließend die Modellgüte für die Gesamtfläche bewertet. Bei einer deutlich größeren Klassenanzahl auf einer Aggregationsstufe (6.1.4) ist dies so nicht durchführbar. In den Abschnitten, die die Wasserhaushaltsmodellierung beinhalten, wird dieses Problem aufgegriffen (7.2 und 7.3).

Übertragung auf das Validierungsgebiet:

Das Validierungsgebiet (1.2.2) ist so zu betrachten, als wäre es ein im Vorfeld einer Kartierung zu modellierender Raum, der weitgehend unbekannt ist. Um für ihn Klassen auszuweisen, muss das Verfahren, also die Reihenfolge der Klassenausweisung, die Variablen und die ideelle Datenbasis feststehen. Dies wurde durch die zuvor dargelegten Arbeiten erreicht. Anhand der Höhenlinien und der

Kartierungsvorgabe wurde die anzustrebende Klassenausdehnung geschätzt. Ohne Kartierungsvorgabe wären sie natürlich unbekannt. Zu diesem Problem finden sich Vorschläge in Abschnitt 7.6.

Nachdem zuvor die Teilergebnisse bezüglich einer Reklassifikation der Modellierungsdaten erläutert wurden, stellen sie sich für die Validierungsdaten wie folgt dar. Wegen der geringen Modellgüte bei Vorgehen B, die zur Ablehnung dieses Vorgehens führte, wurden nur die Vorgehen A, C und D geprüft.

Tab. 24: Fehlquoten der Modellierung der Substrate 3, 7 und „Andere“ im Validierungsgebiet bei Vorgehen A, C und D, Ansatz 1.

Vorgehen	Substrat		error rate %		Vergleich der absoluten Ausdehnung anhand der Kartierung justiert (sonst anhand einer Schätzung)
A	7	Andere incl. 3	45	(x)	
	3	Andere excl. 7	53	24	
C	3U7	Andere	(x)	21	
	3	7	49	53	
D	-	Andere	-	23	
	3	7	52	68	

Vorgehen C wird zur Erläuterung der Methodik herangezogen:

Die absolute Klassengröße wurde so justiert, dass eine zuvor gutachterlich anzunehmende Größe erreicht wurde. Dies führt auch zu einer leichteren Vergleichbarkeit der Modelle nur noch anhand der *error rates*.

(Einschub zum Thema *error rate*, *hit rate* bzw. *accuracy*, (Fehlquote, Trefferquote): Da die modellierten Klassen in etwa die gleiche Größe wie die kartierten haben, ist es nahezu unerheblich, ob hier anhand der *producer's accuracy* oder *user's accuracy* gewertet wird (6.2.2). Bei der ersten wird die Anzahl der richtig klassifizierten Zellen durch die Anzahl der Referenzzellen dividiert, bei der zweiten durch die Anzahl der modellierten Zellen. Bei der Modellaufstellung (Reklassifikation) wird die *producer's accuracy* herangezogen und zusätzlich die Klassengröße separat beachtet. Zur besseren Vergleichbarkeit wird im Validierungsgebiet ebenfalls die *producer's accuracy* berechnet. *Accuracies* und *error rates* drücken spiegelbildlich das gleiche aus, da sie sich zu 1 addieren.)

Im ersten Schritt wird also Substrat „Andere“ endgültig modelliert. Es wird angenommen, dass knapp 70 % des Zielraumes diese Klasse tragen. Der *a-priori*-Wert 60 % bringt eine Fläche von etwa 1080 ha hervor, die 68 % des Zielraumes mit dieser Klasse belegt. Die Fehlquote beträgt 21 %. Der erste Restraum ist somit definiert.

Im zweiten Schritt ist Substrat 3 von Substrat 7 zu trennen. Die Annahme von knapp 30 % der Klasse 3 innerhalb des Gesamtvalidierungsraumes wird eingebracht, indem als *a-priori*-Wert 95 % eingesetzt werden. Es handelt sich um 95 % des Restraumes, der etwa 30 % des Gesamtvalidierungsraumes ausmacht. Hier liegt konzeptionell zugrunde, die Klassenausdehnung beim Übertragen etwa einschätzen zu können (vgl. 7.6). Es resultieren knapp 480 ha, die wie angestrebt etwa 30 % der restlichen Fläche okkupieren. Die *error rate* liegt bei etwa 49 %, denn nur 246 der kartierten 478 ha sind auch als Klasse 3 modelliert worden.

Die Klassenausdehnung der „Kolluvien“ wurde durch die *a-priori*-Einstellung 5 % gesteuert und damit etwas mehr derartige Bereiche modelliert als kartiert. Die Fehlquote ist mit 53 % hoch. Da es sich um eine Klasse geringer Ausdehnung handelt, die zudem linienhaft geformt ist und deshalb hohe Kongruenz trotz ähnlicher Lage schwer zu erreichen ist, wird diese Klassifikation akzeptiert. Beide Fehlquoten für Substrat 3 und 7 wirken hoch, aber hier muss bedacht werden, dass in dieser Phase drei und nicht nur zwei Klassen modelliert werden.

Das Ergebnis von Vorgehen C im Vergleich zur kartierten Klassenverteilung ist in Abb. 38 gezeigt. Die Verteilung der Klassen ist plausibel: Linienhafte Kolluvien (Substrat 7) treten zwar deutlich öfter als in der Kartierung auf. Es handelt sich dabei um Positionen, die aber in der Kartierung in einem parallel verlaufenden Tal ebenfalls Substrat 7 tragen. Insofern ist die Modellierung von Substrat 7 akzeptabel.

Ein Manko ist die zu wenig flächenhafte Lößausweisung im Osten in den flachen Lagen. Eine Prüfung im Gelände anhand von Grabenanschnitten ergab tatsächlich mächtigere Lößdecken, insofern wäre das Modell verbesserungswürdig. Die Lößverteilung in dem zentralen N-S-verlaufenden Haupttal und in dem südwestlich gelegenen Tal sind hingegen recht ähnlich. Auch sind die Lößflächen östlich der zentralen Anhöhe in Karte und Modell etwa gleich positioniert.

Zwischenergebnis Ansatz 1:

Vorgehen C ist bezogen auf die beiden weit ausgedehnten Klassen „Lösse“ und „Andere“ etwas günstiger als A, im Fall von Substrat „Kolluvien“ ist C etwas schlechter. Da die letztgenannte Klasse im Gelände i.d.R. in schmalen Bändern vorliegt, ist eine hohe Kongruenz ohnehin schwer erreichbar. Insofern ist die Modellgüte bei den weiter ausgedehnten Klassen aussagekräftiger und somit ist Vorgehen C günstiger. Dies bestätigt die Ergebnisse der Reklassifikation des Modellierungsdatensatzes.

Die synchrone Modellierung (D) zeigt sich bei allen drei Substratklassen etwas weniger geeignet als die schrittweise Modellierung. Insofern wird die aus der Reklassifikationsgüte im Abschnitt zuvor abgeleitete These untermauert, schrittweises Diskriminieren der Klassen führe zu besseren Ergebnissen.

Anhand der Substratklassen sollen konzeptionelle Alternativen zur Modellierung aufgezeigt werden. Zwei Ansätze sind vordergründig betrachtet ähnlich, weisen aber doch einen deutlichen konzeptionellen Unterschied auf: Das Festlegen *entweder* von spezifischen Parametrisierungs- bzw. Modellierungsgebieten *oder* das Festlegen von Modellierungsclustern. Beide beruhen auf einer der Diskriminanzanalyse vorgeschalteten Clusteranalyse.

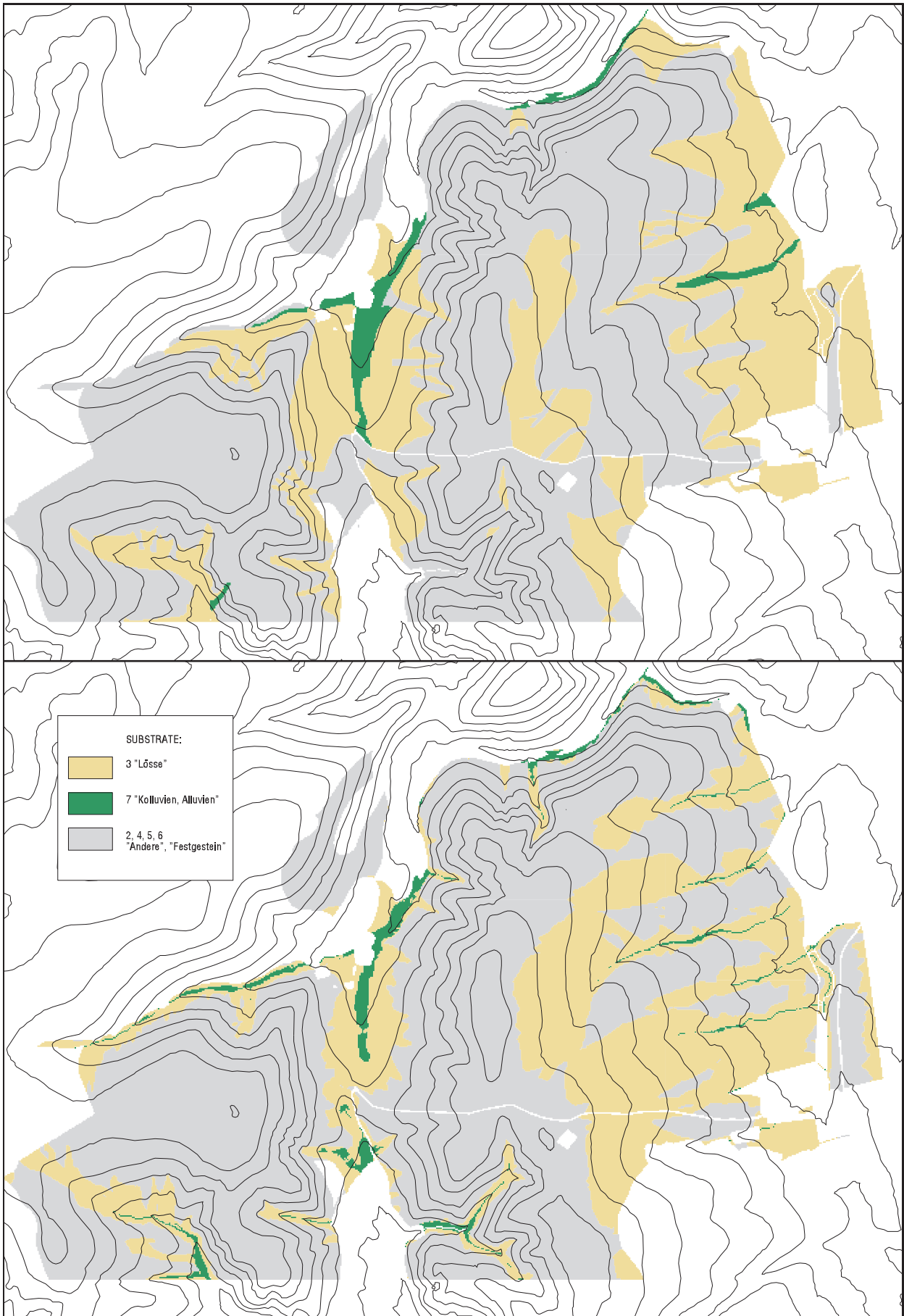


Abb. 38: Kartierte und modellierte Substratklassen 3 „Löss“, 7 „Kolluvien“ und „Andere“, Validierungsgebiet. Modelliert (unten) nach Vorgehen C. Maßstab 1:40.000. 20 m Äquidistanz. Ausschnitt 3548100 5729300 3555300 5734100.

7.1.2.2 Ansatz 2: Zielraumspezifische Modellierungsgebiete

Welche Teilräume der Gesamtdatenbasis eignen sich zur Modellierung eines Zielraumes besonders? Leicht ist einzusehen, dass es nur solche Bereiche sein können, die geomorphologisch ähnlich strukturiert sind. Die Struktur kann mit einer Clusteranalyse erzeugt bzw. abgebildet werden; das Ergebnis sind ebendiese Cluster, gewissermaßen natürliche „Relief-Klassen“ (nicht „Standortklassen“). Es wird also ein Datensatz gesucht, der in seiner Clustergrößenverteilung dem Zielgebiet ähnlich ist. Dafür könnte per GIS die exakt gleiche Verteilung der Cluster in dem Modellierungsdatensatz wie im Zielgebiet erzeugt werden. Dies würde aber nicht unbedingt bedeuten, ein ähnliches Modellierungsgebiet zugrunde zu legen, da die Konstellation der Clusterflächen zueinander bei einer Zufallsauswahl der aufbauenden Zellen aus der Gesamtfläche nicht unbedingt ähnlich wäre. Eine ähnliche Konstellation ist aber anzustreben, weil nur dann vergleichbare bodengenetische Prozesse angenommen werden können.

Vier Cluster wurden auf Basis folgender sieben Variablen erstellt: EXP210, FLI-IL, EXPNAH, SLOF, EUCHANG, EUCTIEW, EZGFFFW. Ihre Auswahl orientierte sich an Testläufen, die allgemein zur Trennung von Standortklassen durchgeführt worden waren. Ziel war hier, das Gelände überhaupt geomorphologisch zu zergliedern. Es wurden dazu die GIS-Funktionen *isocluster* und *mclassify* benutzt (ESRI 1991). Es wird dabei versucht, minimale euklidische Distanzen der Probanden (*samples*) zu Clusterzentroiden herzustellen. Das Verfahren startet mit zufällig festgelegten Zentroiden. Im Laufe von anwenderdefinierten 20 Iterationen werden die Zentroide so verschoben, dass die Distanzen minimal werden. Die Anzahl von vier Clustern wurde gewählt, weil dadurch eine ausreichend detaillierte aber nicht unübersichtliche Differenzierung des Raumes erreicht wird, von der angenommen werden kann, in den Clustern eine gewisse geomorphologische Homogenität vorfinden zu können.

Um räumlich ähnliche Clusterkonstellationen zu prüfen, wurde der Gesamttraum in DGK5-Blattschnitte von 2x2km geteilt. Anteilige Ähnlichkeit der Cluster wurde folgendermaßen definiert: Innerhalb eines DGK5-Blattschnittes wurden die Clusteranteile derjenigen Flächen, die standortkartiert sind, berechnet. Ein DGK5-Ausschnitt gilt dann als dem Zielgebiet ähnlich, wenn seine einzelnen Clusteranteile um höchstens 50 % von denen des Zielgebiets abweichen. Also war z.B. bei einem vorgegebenen Clusteranteil von Cluster 1 von 30 % eine Spanne von 15-45 % erlaubt. Da für jedes Cluster Ähnlichkeit zwischen Ziel- und Modellierungsgebiet bestehen sollte, erfüllten allerdings nicht viele DGK5-Ausschnitte das Kriterium. Abb. 39 zeigt in der südlichen Hälfte drei davon. Dieser Sachverhalt tritt, zumal nur für Teile der DGK5-Ausschnitte des Berglandes Standortdaten als Referenz vorlagen, häufig auf. Clusterflächen der ausgewählten Ausschnitte wurden datentechnisch, nicht räumlich, zusammengesetzt. Damit ist trotzdem die erzeugte Gesamtmodellierungsfläche nicht unbedingt groß. Sie ist aber in ihrer Gesamtheit dem Zielgebiet ähnlich, da nur ähnliche Ausschnitte als Basis dienten.

Tab. 25: Anteile der Cluster im Zielgebiet und clusterbezogen ähnlichem Modellierungsgebiet.
(Zielgebiet ~ hier Validierungsgebiet)

Cluster	1	2	3	4	Summe ha
Zielgebiet	14 %	19 %	28 %	39 %	1561
Modellierungsgebiet	13 %	16 %	27 %	44 %	1369

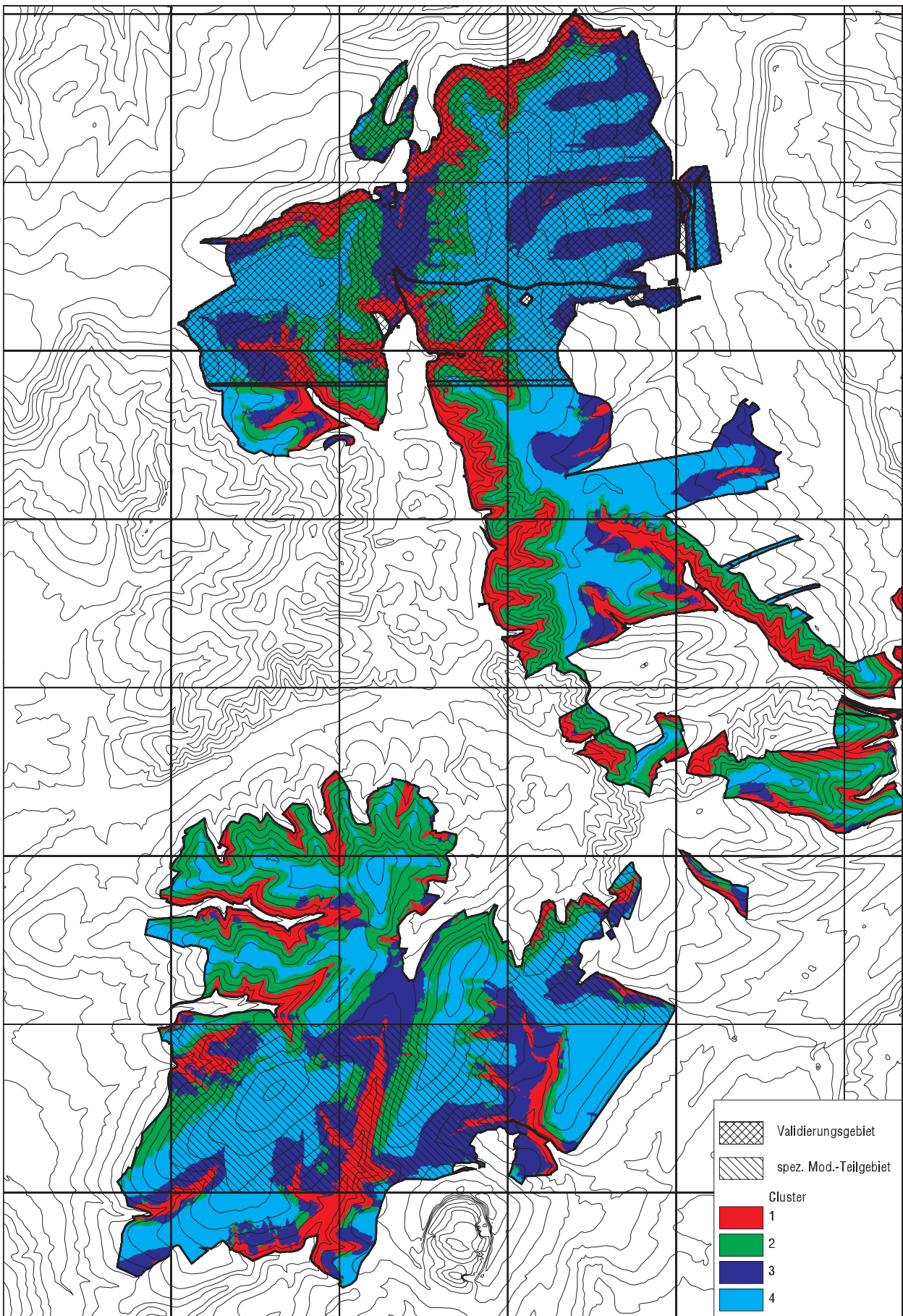


Abb. 39: Validierungsgebiet und aus vier Clustern aufgebaute und abgeleitete spezifische Modellierungsteilgebiete. Quadrate ~ DGK5-Schnitt. 20 m Aquidistanz. Maßstab 1:65.000. Ausschnitt 3546000 5718500 3556700 5734100.

Die Tab. 25 zeigt die clusterbezogene Ähnlichkeit, die mit dem Ansatz in diesem Fall hergestellt werden konnte. Da somit eine konzeptionelle Voraussetzung geschaffen wurde, konnte nun die Übertragung des Standortklassenmodells erfolgen.

Um Vergleichbarkeit zwischen den Ansätzen herzustellen, wurden die gleichen Schritte, die sich bei der Nutzung der ideellen Datenbasis als geeignet herausgestellt hatten, durchgeführt: Zuerst die Trennung der Gruppenklasse Substrat 307 gegenüber „Anderen“ und danach die Trennung von Substrat 3 und 7.

Bei der Modellübertragung wurde ohne gutachterlich festgesetzte *a-priori*-Annahmen klassifiziert, da bei Ähnlichkeit der Gebiete angenommen werden kann, dass auch gleiche Klassengrößenverhältnisse auftreten und diese durch das spezifisch festgelegte Modell adäquat produziert werden können. Deshalb wurde die Option *proportional* verwendet, die die Klassenverteilungen der Modellierungsdaten berücksichtigt. Die *a-priori*-Wahrscheinlichkeit beispielsweise für die Gruppenklassen 3 und 7 ist demnach 22 %. Auffällig ist, dass im Validierungsgebiet aber etwa 32 % der Fläche von dieser Klasse aufgebaut werden. Die Variablen SLODIS17, FLI-IL, FLI-L und EINSTR wurden gewählt; die Modellübertragung ergab eine unwesentlich zu große Ausdehnung der Klasse „Andere“ und eine hohe Kongruenz von 84 %. Für den zweiten Schritt wurden die Variablen FLI-IL, FLI-I und EZGFFF als geeignet erkannt; sie führen bei Modellanwendung zu einer *error rate* für Klasse 3 von 54 % und für Klasse 7 von 42 %. Da Klasse 3, die Löss, absolut betrachtet in zu geringer Ausdehnung (380 ha statt 480 ha) modelliert wurde, ist das Ergebnis insgesamt nicht als gut zu werten.

Klasse 7 wurde mehr als zweimal so ausgedehnt modelliert wie kartiert. Da es sich um die linienförmig angeordneten Kolluvien handelt, die bei Kartierungen leicht unterschätzt werden können, ist dieses Verhältnis und auch die Kongruenz noch akzeptabel.

Das seltene Auftreten der Klasse 7 in den Modellierungsdaten muss allerdings noch hinsichtlich der Modellstabilität diskutiert werden. In dem als geomorphologisch ähnlich erkannten Modellierungsgebiet liegen nur drei derartige Flächen mit insgesamt 5 ha Größe; sie sind am Westharzrand, der zum Bergland gestellt wurde positioniert. Insofern handelt es sich einerseits um eine recht geringe und dem Validierungsgebiet anscheinend unähnliche Datenbasis. Andererseits wird aber im Zuge des oben erläuterten Ansatzes ein Modellgebiet gesucht, das dem Validierungs- bzw. Zielgebiet ähnlich sein soll. Die Konstellation der Cluster und ihre Flächenanteile sprechen dafür, ein „ähnliches“ Gebiet gefunden zu haben. Deshalb muss konsequenterweise akzeptiert werden, dass die Klasse 7, Kolluvien, in der beschriebenen Form vorliegt. Damit ist auch das Modellierungsergebnis zu akzeptieren und nicht prinzipiell in Frage zu stellen.

Zieht man nun klassenweise *error rates* und absolute Klassengrößen als Bewertungskriterien heran, so ergibt sich im Vergleich zu dem bis hierher favorisierten Vorgehen C basierend auf einer ideellen Datenbasis keine umfassende Verbesserung: Die Klasse „Andere“ wird im jüngsten Ansatz bezüglich der *error rate* günstiger modelliert, bezüglich der absoluten Ausdehnung aber ungünstiger. Dies korrespondiert automatisch mit den Werten für die Klasse 3 „Löss“, da diese beiden Klassen fast die ganze Fläche ausmachen. Die absolute Fläche wird schlechter modelliert und auch die Kongruenz ist ungünstiger.

Stellt man die *a-priori*-Werte, wie auch im DB_I-Ansatz gefordert, so ein, dass die gewünschte absolute Größe der Zielklassen im Zielgebiet auftritt, so ist die Fehlquote der Löss mit 45 % immer noch recht hoch. Sie ist etwas günstiger als die von 49 % bei Vorgehen C, Ansatz 1 (7.1.2.1). Auch ist die Lage im Raum plausibel.

Ein Zwischenergebnis ist: Ohne *a-priori*-Steuerung des Modells funktioniert die Modellübertragung nicht in akzeptablem Maße, mit *a-priori*-Steuerung ist das Ergebnis etwa genauso gut wie das des DB_I-Ansatzes, was ebenfalls mit vom Anwender eingesetzten, steuernden *a-priori*-Annahmen arbeitet.

Ein Problem ist auch das Auffinden eines ähnlichen Modellierungsgebietes bei einer Anzahl von vier zu vergleichenden Clusteranteilen. Im vorgestellten Beispiel gelang dies. Allerdings zeigte die geringe Fläche von nur 1369 ha des Modellierungsgebietes bereits an, dass keine ausgedehnten ähnlichen Teilgebiete vorliegen, wenn das Verfahren, wie oben erläutert, durch die DGK5-Blattschnitte und die kartierten Flächen eingeschränkt ist. Ein Arbeiten mit Blattschnitten oder vergleichbaren Ausschnitten ist aber notwendig, um ähnliche Clusterkonstellationen erfassen zu können.

Ein kleines, so resultierendes Modellgebiet kann zur Verminderung der Modellqualität beitragen. Tatsächlich gelang es bereits kaum, einen anderen Modelltestaufbau zu konstruieren, in dem als Zielgebiet das Rev. Gittelde (Abb. 3) fungiert. Nur ein DGK5-Ausschnitt enthielt „ähnliche“ Clusteranteile, insofern war nur ein sehr kleiner ähnlicher Raum von etwa 130 ha Größe zu finden. Drei Abwandlungen des Ansatzes sind denkbar:

- 1 Clusteranzahl von 4 auf 3 reduzieren
- 2 Ähnlichkeit durch ein weniger strenges Kriterium als 50 %-Abweichung der Clustergröße definieren
- 3 Loslösung von Blattschnitten der DGK5 und stattdessen virtuelle Quadrate über die Fläche stufenlos „wandern“ lassen. Dies könnte ermöglichen, mehr Ausschnitte ähnlicher Clusterverteilung zu finden.

Bei Abwandlung 1, der Nutzung von nur drei Clustern, wird der zu modellierende Raum und auch die Modellierungsdatenbasis weniger gegliedert. Damit ist das Auffinden eines dem Zielgebiet „ähnlichen“ Modellierungsgebiets weniger sachlich begründet möglich, weil die Kriterien für Ähnlichkeit reduziert werden. Bei Abwandlung 2 ist offensichtlich, dass zwar mehr Fläche als Modellierungsdatenbasis zur Verfügung stehen würde, aber „Ähnlichkeit“ der Gebiete immer weniger gewährleistet wäre.

Ein Sachverhalt leitet zu dem folgenden Ansatz über: In einem Zielgebiet kann bereits naturräumliche Unterschiedlichkeit vorkommen. Im Extremfall, wenn ein Zielgebiet ein ganzes Forstamt ist, könnte ein Revier im Tiefland und die übrigen Reviere im Bergland liegen. Wie ist also das Zielgebiet strukturiert? Das Zielgebiet selbst müßte ggf. in homogene Teilzielgebiete gegliedert werden. Dieses Problem des immer neuen und ggf. inhomogenen Zielgebiets, für das sich eine „allgemeine“ Modellierungsbasis nur bedingt eignet, kann oftmals auftreten. Deshalb ist die konzeptionelle Trennung von der Vorstellung eines fixen Ziel- und Modellgebiets zu prüfen, was im folgenden umgesetzt wird.

7.1.2.3 Ansatz 3: Modellierungscluster als Modellierungsteilgebiete

Zuvor wurde gezeigt, wie für ein spezifisches Zielgebiet ein spezifisches Modellierungsgebiet festzulegen ist. Ein weiterer Ansatz ist diskussionswürdig: Das Problem kann auch losgelöst von der Begrifflichkeit

Zielgebiet – Modellierungsgebiet bearbeitet werden. D.h., es muss nicht unbedingt in Zielgebiet bzw. Modellierungsgebiet insgesamt unterschieden werden.

Stattdessen könnte innerhalb einzelner durch Cluster, also künstliche Zellengruppen bestimmter Räume, ein spezifisches Modell aufgestellt werden, was dann für Modellraum und Zielraum gleichermaßen Gültigkeit hätte. In diesem Fall kann die Gesamtheit aller FSK10-Daten des jeweiligen Clusters zur Aufstellung des Modells benutzt werden, unabhängig davon, wo diese Datenzellen im Bergland liegen.

Die vier Cluster waren dieselben, die unter Ansatz 2 erläutert worden sind (Funktionen *isocluster* und *mlclassify*, ESRI 1991).

Variablenselektion erfolgte wie üblich mit der *stepdisc*-Prozedur des Programms SAS unter Anwendung der Schwellenwerte pR^2S und pR^2E 0.02. Clusterfestlegung im GIS und Modellfestlegung mit der Statistiksoftware sind unabhängige Arbeitsschritte, Cluster sind nicht (Standorts)-Klassen! Die Clusterfestlegung hätte ebenfalls mit SAS durchgeführt werden können, aber aus Gründen der leichteren Visualisierung wurde sie direkt im GIS vollzogen.

Tab. 26: Variablenwahl zur schrittweisen Trennung der Substratklassen Löss, Kolluvien und Andere (3, 7, 2456) anhand von vier Teilmodellen innerhalb von vier Clustern, Ansatz 3.

Cluster	Schritt	Klassen	geeignete Variablen, in Reihenfolge ihrer pR^2S -Werte
1	1	3U7 gegen Andere	SLOF FLI-IL
	2	3 gegen 7	EZGFFFW SLOF EXP8 SLODIS9 EZGFL
2	1	3U7 gegen Andere	FLI-IL SLODIS17
	2	3 gegen 7	EINSTRMODBES
3	1	3U7 gegen Andere	SLOF HOE ASPWEST EINSTRMOD
	2	3 gegen 7	EZGFFFW HOE SLOF EZGFL FLI-L
4	1	3U7 gegen Andere	SLODIS17 FLI-IL
	2	3 gegen 7	FLI

Im ersten Schritt werden zumeist Variablen genutzt, die mit Neigungsverhältnissen im weitesten Sinn zu tun haben (SLOF, SLODIS17) oder die Form und Lage einer Zelle integriert beschreiben (FLI-IL). Im zweiten Schritt treten vermehrt Variablen der Einzugsgebietsbeschreibung (EZG...) auf.

Auffällig ist im zweiten Schritt innerhalb Cluster 2 die alleinige Auswahl der Variablen EINSTRMODBES, eines Einstrahlungsindex. Es ist nicht einzusehen, warum er allein die Trennung von Lössen und Kolluvien fördern sollte. In diesem Kontext fällt weiter auf, dass auch im Schritt 2 des Clusters 4 nur eine Variable herangezogen wird. Möglicherweise hängt dies mit einer eventuell ungenügenden Modelldatenbasis zusammen, was später wieder angesprochen wird.

In den Clustern 2 und 4 sind die gleichen Variablen geeignet, nur mit unterschiedlicher Reihenfolge ihrer Bedeutung. Dies ist plausibel, da die beiden Cluster oft aneinander anschließen: Cluster 2 ist der Oberhang und Cluster 4 ist die zumeist oben anschließende Verebnung.

In Cluster 3 kommen Variablen vor, die geländeklimatisch interpretierbar sind: HOE, EINSTRMOD und ASPWEST. Dieses Cluster steht für die flacheren Täler und Unterhänge, wohingegen Cluster 1 die steileren Unterhänge engerer Täler darstellt. Täuscht das Datenmaterial in Cluster 3 einen Zusammenhang vor? Die Plausibilität der Verwendung dieser Variablen wurde u.a. dadurch geprüft, die Werteverteilung graphisch anhand von Verteilungsdichten darzustellen. Sie umfassen den Wertebereich innerhalb einer Standardabweichung um den Klassenmittelwert, also 68 % der Werte (Abb. 40).

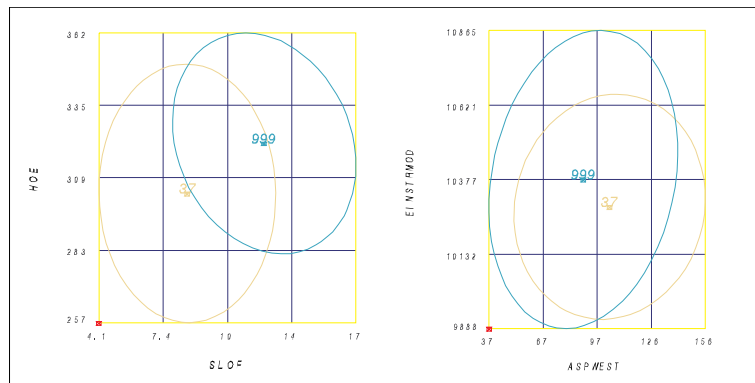


Abb. 40: Werteverteilung in den Substratklassen 3U7 und „Andere“ (999) in Cluster 3 der Modellierungsdaten. Variable Neigung, Höhe, Einstrahlung und Abweichung von Westexposition (SLOF, HOE, EINSTRMOD, ASPWEST).

Wenn auch große Überlappungen des Wertespektrums zwischen den Klassen 3U7 und „Andere“ auftreten, so zeichnen sich doch Tendenzen ab, die plausibel sind:

Je geringer die Neigung, je geringer die absolute Höhe, je stärker die Abweichung von der W-Exposition und je geringer die Einstrahlung, desto wahrscheinlicher ist das Auftreten der kombinierten Klasse 3U7, LössuKolluvien. Die Aussagen bezüglich der ersten drei Variablen sind relativ leicht zu akzeptieren, schwieriger ist es bei der Wertung der Einstrahlung. Sie ist in tieferen Lagen bei gleicher Exposition etwas geringer als „oben“, insofern drückt Einstrahlung auch eine relative Lage aus. Größere Unterschiede im Wertespektrum sind allerdings expositionsbedingt. Vereinfacht würden Südlagen also das Vorkommen von Substrat 3U7 verringern, Nord- und Südlage hat für die Klasse der „Anderen“ wie zu erwarten keinen Einfluß. Eine Interpretation ist, dass bei und nach Lößablagerung wegen der häufigeren Temperaturen über dem Gefrierpunkt in Einstrahlungslagen mehr Löß talwärts abgeführt wurde und somit weniger Löß in solchen südlichen Lagen auftritt. Diese Aussage bezieht sich nur auf Cluster 3, die mäßig geneigten Eintiefungen.

Die wiederholte Auswahl bestimmter Variablen (Tab. 26) unterstützt im übrigen bereits die Annahme, dass ein Modell, das den Zielraum im Ganzen modelliert, nicht weniger geeignet wäre. Allerdings ist die Variablenwahl nicht so homogen, dass sich zwingend eine Zusammenfassung ergäbe. Das Modellierungsergebnis in dem gesamten Validierungsgebiet stellt sich wie folgt dar:

Tab. 27: Modellierungsgüte der Substratklassen 3, 7 und „Andere“ im Validierungsgebiet anhand von Teilmodellen innerhalb von vier Clustern, Ansatz 3. A-priori-Einstellung proportional.

Substrat		error rate %		Vergleich der absoluten Ausdehnung	
3U7	Andere	(x)	17	-	1080 statt 1060 ha
3	7	47	61	468 statt 478 ha	40 statt 31 ha

Anders als bei Ansatz 1, den Vorgehen A, B, C und D und dem Ansatz 2, beruhend auf „ähnlichem“ Modellierungs- und Zielgebiet, wurde hier nicht mit anwenderspezifizierten *a-priori*-Werten gearbeitet, die die Klassengröße steuern. Stattdessen wurden die Klassengrößen des Modellierungsdatensatzes als steuernde Werte angenommen (Option *proportional*). Der Grund ist: Für alle vier Klassen und nicht nur für das Zielgebiet als Ganzes müßte jeweils im Vorfeld eingeschätzt werden, wie groß die Anteile der Zielklassen sind. Dies kann von einem Anwender nicht geleistet bzw. verlangt werden. Insofern sind die im Modelldatensatz vorhandenen Anteile die zuverlässigste Information zur Beeinflussung der Klassengröße. Diese Option hat sich im Beispielfall bewährt, denn die modellierten Klassengrößen sind zufriedenstellend (rechts in Tab. 27).

Durch die Aufteilung des Modellierungsgebietes in die vier Cluster kann die Ausdehnung einer Standortklasse aus zwei Gründen sehr gering sein: Erstens, weil der Raum bzw. das Datenmaterial überhaupt geviertelt wird und zweitens, weil in bestimmten Clustern -auch reliefbedingt- manche Klassen berechtigterweise selten sind.

Tab. 28: Anteile der Substratklassen je Cluster 1 – 4 (%) und absolute Ausdehnung der Cluster und Substrate (ha).

Cluster	Substrat 3	Substrat 7	Andere	ha
1	23.37	11.27	65.36	1836
2	12.60	0.37	87.03	2613
3	39.29	5.49	55.22	1497
4	22.88	0.12	77.00	2854
ha	1999	302	6499	8800

In Cluster 2 und 4 beispielsweise bauen die Kolluvien (7) nur einen sehr geringen Anteil der Modellierungsdaten des Schrittes zur Trennung der Lössе gegen die Kolluvien auf. Im Vergleich mit allen Daten dieser Cluster ist es nur 0,37 bzw 0,12 % bzw. absolut betrachtet nur einige ha. Bei solchen Verteilungen müßte somit jeweils entschieden werden, ob eine bestimmte Klasse mit dieser Grundlage überhaupt sinnvoll zu modellieren ist.

Die Lage im Raum, d.h. die Konstellation der Klassen, ist zwar plausibel, es gibt aber einige visuell wahrnehmbare „Sprünge“ zwischen Bereichen verschiedener Basiscluster (Abb. 39, Abb. 41). Bei vier Clustern sind bis zu drei Sprünge anzunehmen. Das Gesamtbild der Klassenverteilung ist somit unruhig.

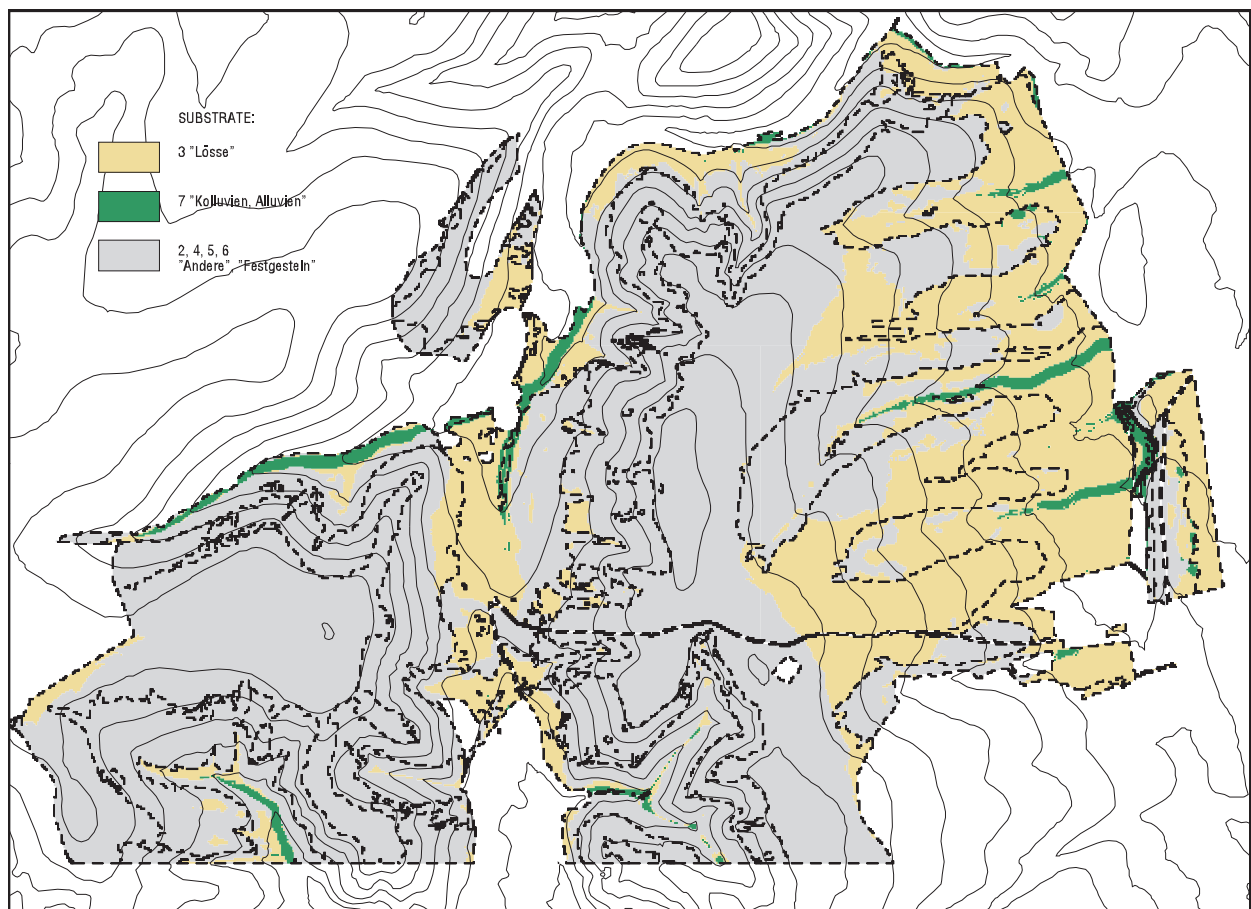


Abb. 41: Substratklasse Lössе, Kolluvien und Andere, abgeleitet anhand spezifischer Modelle in vier Clustern. Option proportional. Gestrichelt ~ Clustergrenzen. Maßstab 1:40.000. Validierungsgebiet.

Welche Vor- und Nachteile bringen nun die Ansätze mit sich ? Die Modellgüte der drei Ansätze ist nicht in dem Maße unterschiedlich, dass eine Entscheidung offensichtlich wäre. Daher müssen auch andere Entscheidungskriterien herangezogen werden.

Tab. 29: Fehlquoten für Substratklasse Kolluvien, Lössе und Andere bei Übertragung von drei Ansätzen bzw. Optionen auf das Validierungsgebiet.

Kürzel	Ansatz bzw. Option	Kolluvien	Lössе	Andere	visuelle Beurteilung
1	Ideelle Datenbasis DB _I -2, Vorgehen C, <i>a-priori</i> steuernd	53 %	49 %	21 %	plausibel
2	„ähnliches“ Gebiet, <i>a-priori</i> steuernd	55 %	45 %	17 %	plausibel
3	„in Clustern“, <i>a-priori</i> proportional	61 %	47 %	17 %	plausibel, aber unruhig

Die Kenntnis der Größenanteile einer Klasse in den einzelnen Clustern ist bei Ansatz 3 ein Vorteil, weil keine Arbeiten zur Herleitung (Schätzung) dieser andernfalls unbekanntes bzw. nur anzunehmenden Werte durchgeführt werden müssen. Auf Grund der Prämisse, die bodengenetischen Faktoren innerhalb eines Clusters seien gleich, muss man konsequenterweise ebendiese Klassengrößen annehmen, die im Modellgebiet vorliegen. Das Modell sollte also nicht mit *a-priori*-Annahmen modifiziert und an das Zielgebiet angepasst werden. So wurde mit Erfolg verfahren.

Ein Nachteil ist aber die größere Anzahl der Umsetzungsarbeitsschritte. Die Anzahl des bisher favorisierten Vorgehens c (1) ist mit der Clusteranzahl zu multiplizieren. Modelliert man also schrittweise jeweils in den vier Clustern (3), so sind zur Ausweisung von nur drei Klassen „Kolluvien“, „Lössе“ und „Andere“ in einem Zielgebiet $4 \times 3 = 12$ Arbeitsschritte notwendig, was relativ aufwändig ist.

Dies und das etwas inkonsistente, unruhige Bild der Klassenverteilung bei 3 und auch die hohe Fehlquote bei den Kolluvien (61 %) führen dazu, Ansatz 3 nicht anzuwenden.

Ansatz 2 weist etwas günstigere Fehlquoten für „Lössе“ und „Andere“ als Ansatz 1 auf. Auch unabhängig von konkreten Daten zur Klassengröße, Zusammensetzung und Fehlquote erscheint Ansatz 2 als der geeignetste: Hier wird für ein aktuelles Zielgebiet (~ Validierungsgebiet) ein spezifisches, „ähnliches“ Modellierungsgebiet festgelegt. Bei ähnlicher geomorphologischer Ausstattung sollte ähnliche Standortklassenverteilung vorliegen. Welches sind die Schwächen dieses Ansatzes ?

Bei Ansatz 2 wurde zwar immerhin eine Modellierungsflächengröße von etwa 1370 ha bereitgestellt. Einige Versuche zeigten aber die Schwierigkeit, aus der Gesamtdatenbasis von 9000 ha überhaupt „ähnliche“ Teilflächen zu extrahieren. Solange keine wesentlich größere Datenbasis eingespeist werden kann, erscheint Ansatz 2 nicht etablierbar zu sein.

Da sich zur Zeit die Relation von kartierten (digitalisierten) und unkartierten Waldflächen in Niedersachsen bezüglich Fläche und Lage im Raum so darstellt, dass für ein beliebiges Zielgebiet die geeignete, repräsentative Datenbasis ausreichender Größe nicht unbedingt existiert, wird Ansatz 1 favorisiert. Wenn die Daten eine annähernde Gleichverteilung (Fläche und Lage) aus kartierten und unkartierten Flächen aufweisen würden, könnte auf besserer Grundlage eine Zuordnung von Zielgebiet und Modellierungsgebiet erfolgen.

Es bleibt aber die Frage, warum die Ansätze 2 und 3 nicht deutlich besser als Ansatz 1 sind ? Ist Ansatz 1 trotz seiner Mängel (Zusammensetzung der Probanden einer Klasse) ein recht guter Ansatz oder wohnt den Ansätzen 2 und 3 ein deutlicher Mangel inne ? Dass die Ansätze 2 und 3 nicht hervorstechen, kann nur damit erklärt werden, jeweils eine gegenüber der DB_I-2 verringerte Datenbasis zu nutzen. In ihr

können Kartierungsmängel und zufällige Ausprägungen von Standortklassen eher negativ durchschlagen als in der DB_I-2.

Das Ergebnis zur Eignung der beiden alternativen Ansätze 2 und 3 ist: Der ursprüngliche Weg, der zuvor favorisiert wurde (Ansatz 1, Vorgehen C, 7.1.2.1) ist im Prinzip genauso erfolgreich wie die Alternativen und kann somit verwendet werden.

7.1.3 „Unterlagerndes Festgestein“, hergeleitet anhand der Kombination GK25 – FSK10

Herleitung anhand von Klassenkombinationen:

Die Bewertung des geologischen Materials, das als digitale Information in mehrere Attribute aufgeteilt ist, muss vor dem Hintergrund der Mehrschichtigkeit erfolgen. Zwischen der Kartierung von einer oder mehreren Schichten in der GK25 und der FSK10 besteht eine Diskrepanz; sie ist das Problem bei der Auswahl und Kombination von geologischen Merkmalen für die Modellierung. Somit wurde entschieden, das Lockermaterial außer bei der Verwendung in Abschnitt 7.1.1 abzudecken (5.3.1). Aus Gründen der Rationalisierung und weil es geologisch-standörtlich vertretbar ist, wird später in 7.1.4 nur auf die Information PETA zurückgegriffen. Hier aber wird STRPETA benutzt, also auch die Stratigraphie, weil dies eine Mehrinformation und Konkretisierung der geologischen Information darstellt, die herangezogen werden sollte, soweit es operational möglich ist.

Sowohl die geologischen Verhältnisse am Ort als auch die des Einzugsgebietes müssen herangezogen werden, um das Standortmerkmal Substrat / Lagerung zu modellieren, da die Standortverhältnisse von den Verwitterungsprodukten am Ort und der Umgebung abhängen. Zuerst sind die Verhältnisse am Ort, gewissermaßen als „Sockel“, zu verwenden. Beispiele anzunehmender Parallelisierung von GK25 und FSK10 enthält Tab. 30.

Tab. 30: Beispiele anzunehmender Kombinationen des unterlagernden Festgesteins der GK25 (STRPETA) und der FSK10 nach Abdeckung des Lockermaterials bzw. der Decken.

Fall	GK25, „unterlagernd“		FSK10, „unterlagernd“
	Stratigraphie	Petrographie	Substrat, unten
a	sm	^s	2, basenarm
b	mu	^k	4, Kalk
c	so	^t	5, Ton
d	tmi	+B	6, basenreich

In Fall a könnte die zugrunde liegende vollständige Substrat / Lagerungszahl 23 sein, d.h. „bis 7 dm mächtige schluffig-lehmige Decken über basenarmen Silikatgestein“ vorliegen. Dem entsprächen Lockermaterialien der GK25, etwa mit der Bezeichnung qw_{fl} (Weichselzeitliches Quartär, Fließerden), die petrographisch von Sandsteinen der stratigraphischen Einheit sm unterlagert werden. Fall b zeigt die wahrscheinliche Umsetzung typischer Kalkgesteine des Muschelkalks in Substratklasse 4 und Fall c die der Rötone zu Substratklasse 5. Im Fall d stehen sich tertiäre Basalte der GK25 und basenreiche Silikatgesteine der FSK10 gegenüber. Für die Prüfung der Umsetzung GK25 → FSK10 wurden Bereiche der Blätter 4224, 4324, 4127 und 4227 gewählt (Abb. 31) und somit für etwa 3400 ha des Berglandes die Kombination aus stratigraphisch/petrographischer Einheit und Substrat hergestellt. Wohlgermerkt handelt es sich um „abgedeckte“ geologische bzw. forststandörtliche Einheiten:

Wenn Festgestein die erste Schicht der geologischen Information aufbaut, wird diese Schicht benutzt. Ein Abdecken des Lockermaterials ist dann nicht notwendig, da es -falls im Gelände vorhanden- bei der geologischen Kartierung nicht vermerkt wurde (5.3.1). Wenn Lockergestein die erste Schicht der

geologischen Information darstellt, wird diese Schicht ignoriert und das Festgestein, die Einheit der zweiten Schicht benutzt. Hier wird das Lockermaterial gewissermaßen „abgedeckt“.

Bei zweischichtigen Substrat / Lagerungsklassen der FSK10 wurde ebenfalls „abgedeckt“, indem das auflagernde Lockermaterial nicht berücksichtigt und der Standort einem unterlagernden, passenden Substrat (SUB_{unten}) zugeordnet wurde. In den meisten Fällen ist diese Entscheidung eindeutig. Zum Beispiel gelangt die Klasse 35 (Tab. 3) in SUB_{unten} 2, weil unter dem >7 dm mächtigen feinkörnigen Lockermaterial basenarmes Silikatgestein (2) ansteht. Ähnliches gilt für 26, 64 und 72. Bei Lockermaterial-Einschichtigkeit ist unklar, welches Festgestein in größerer Tiefe ansteht. Dann ergab sich für SUB_{unten} die Substratklasse des Lockermaterials. Dies gilt für 31, 32 und 71. Zuweilen reicht das (verwitterte) Anstehende bis an die Oberfläche, es existiert nur eine dünnmächtige Decke. Somit ist der Wert von SUB_{unten} der des Gesamtprofils, so bei 11, 21, 41, 51 und 61. Unsicher ist der Wert bei 15, 25, 33 und 73, weil dort entweder Kalk (4) oder basenreiches Silikatgestein (6) als unterlagerndes Material möglich ist. Es wurde die Sonderklasse 4060 vergeben. Eine Sonderklasse 5556 ergibt sich auch bei den seltenen Bröckeltonen (55, 56). 54 kann „unten“ Ton oder Kalk aufweisen, hier wurde zugunsten von Ton, entschieden. Die vollständige Umsetzung zeigt Tab. 31.

Tab. 31: Umsetzung der FSK10-Klassen Substrat / Lagerung in „unterlagernde“ Substrate (SUB_{unten}).

Substrat / Lagerung →	SUB _{unten}
11 12 16	1 feinkörniges Material
13 21 22 23 26 35 46 64 72	2 basenarmes Silikatgestein
31 32	3 feinkörniges Material, Löß
41 42 43 44 47	4 Kalke
14 24 34 48 51 52 53 54 65 74	5 Tone
45 61 62 63	6 basenreiches Silikatgestein
71	7 Kolluvium, Alluvium
15 25 33 73	4060 Kalke oder basenreiches Silikatgestein
55 56	5556 Bröckeltone

Korrespondieren GK25-Festgesteine mit den „unterlagernden“ Materialien der FSK10-Klassen? Wie könnte man eine Umsetzung vollziehen? Da manche geologische Einheiten in nur geringer Ausdehnung von wenigen ha vorkommen, ist für sie eine Aussage anhand solcher Daten schwierig. Einheiten kleiner als 5 ha wurden somit nicht auf diese Weise bewertet. Es verblieben 28 Einheiten (Tab. 32).

Folgende Kombinationen sind eindeutig und plausibel. Hier gibt die Klassenverteilung Grund dazu, die geologischen Einheiten ohne weiteres in eine „unterlagernde“ Substratklasse einzuordnen:

- smDS^s Sandsteine, Quarzite des sm, verschiedene Folgen
- smVW^s und Substrat 2, basenarme Silikatgesteine.
- smDW^s desgl.
- smH^{s-q} desgl.
- smS1BsmST^{fs-ms} desgl.
- smSS^s desgl.
- smVA^s desgl.
- smVS^s desgl.
- su^{tbl} blättrige Schiefertone → Substrat 2, basenarme Silikatgesteine.

Tab. 32: Verteilung abgedeckter stratigraphisch-petrograph. Einheiten der GK25 auf abgedeckte FSK10-Substrate. (ha, gerundet) Einheiten aus den Teilräumen Sollingvorland, Gittelde, Harzvorland.

STRPETa	SUB _{unten}							Summe
	2	3	4	5	6	7	4060	
cdGT ^{tsf} . ^g	1.8	12.2		3.5	1.6	3.7	0.1	23.0
cdKG ^g	1.2	48.0	11.1	0.9	0.2	18.6	2.4	82.3
cd ^g . ^{ts}		3.7		2.6		0.4		6.6
dm+D	0.8				9.8	0.2	0.4	11.1
dm+DVt	1.1	0.3	0.3		28.1	1.2	2.3	33.3
mm ^m			31.7	1.1		1.3	7.8	41.9
mo1 ^k			8.8				0.2	9.0
mu ^k . ^m	0.1	1.0	94.3	3.8		2.1	13.0	114.4
ro ^c . ^s . ^t		13.7	4.8			0.6		19.0
smDS ^s	191.2	2.7		2.7		0.4		197.1
smDW ^s	331.0	7.9		3.6		2.6		345.2
smH ^s . ^q	1049.8	47.2		95.5		5.0		1197.6
smS1BsmST ^{fs} . ^{ms}	9.4			0.4				9.7
smS4smT ^t	3.8			0.6			0.8	5.2
smSS ^s	29.1			0.4				29.5
smVA ^s	735.4	26.3		4.2		5.9		771.8
smVS ^s	15.2	0.6						15.8
smVW ^s	298.4	13.5		1.9				313.8
so4 ^t . ^u			3.8	2.3		0.6	0.4	7.1
so ^m . ^t	2.6			7.3			7.3	17.1
so ^t . ^u			8.0	8.5			0.9	17.4
suB ^t . ^u		0.9	2.3	7.6			7.9	18.6
suUW ^t . ^u			0.2	16.6			1.2	18.1
su ^{tbl}	18.9							18.9
z1A ^k . ^m		0.1	29.4	0.1			4.1	33.7
z1K.z1T ^k	0.2	0.6	14.0		0.1	0.3	2.3	17.5
z1K ^k		0.5	4.5			0.3	0.4	5.7
z2K ^k . ^m			14.5	0.4			9.1	23.9
Summe	2689.8	179.2	227.7	164.1	39.8	43.3	60.6	3404.4

Fortsetzung:

mo1 ^k	Oberer Muschelkalk
z1A ^k . ^m	Zechstein - Kalke und Mergel → Substrat 4, Kalke.
z ^k .z1T ^k	desgl.
z ^k . ^k	desgl.
suUW ^t . ^u	Unterer Buntsandstein, Untere Wechselfolge → Substrat 5, Tone.
dm+D	Diabase → Substrat 6, basenreichere Silikatgesteine.
dm+DVt	desgl.

Bei folgenden Kombinationen wird SUB_{unten} nicht von Festgestein aufgebaut, da mächtiges Lockermaterial vorliegt, so dass die Substrat / Lagerungsinformation nichts über den Untergrund aussagt. Deshalb entspricht SUB_{unten} dem auflagernden Lockermaterial, nämlich 3, „Lösse oder ähnliche feinkörnige Sedimente“. Diese berglanduntypischen Kombinationen kommen am Harzrand vor, der z.T. in die Berglandbasis einbezogen wurde (1.2.1) und dienen hier nur zur Verdeutlichung des Prinzips:

cdGT ^{tsf} . ^g	Tonschiefer	→ 3
cdKG ^g	Grauwacke	→ 3
cd ^g . ^{ts}	Grauwacke, Tonsandstein	→ 3
ro ^c . ^s . ^t	Konglomerat, Sandstein, Tonstein	→ 3

In solchen Fällen wäre die Umsetzung an anderen geologischen Daten und Standortdaten zu orientieren und weitgehend gutachterlich zu entscheiden, wie z.B. die Grauwacken (\hat{g}) einzuschätzen sind. Wahrscheinlich wird zugunsten der Klasse $SUB_{\text{unten}} 2$ entschieden (vgl. 2.3.2.1).

Bei der stratigraphischen Einheit ‚so‘ (Röt) in Einheit mit der petrographischen Angabe \hat{t} sollte als unterlagerndes Festgestein SUB_{unten} der Wert 5, Ton, auftreten. Dies ist nur zum Teil der Fall. Mergeltone des Röt entfallen zu Recht entweder auf die Tone (5) oder auf die Sonderklasse 4060, Kalke/basenreichere Silikatgesteine:

- $so4^{\hat{t}.^{\hat{u}}}$ → meistens auf 4 Kalk, sonst auf 5 Ton.
- $so^{\hat{t}.^{\hat{u}}}$ → zur Hälfte auf 4 Kalk und 5 Ton.
- $so^{\hat{m}^{\hat{t}}}$ → zur Hälfte auf 5 Ton und 4060, Umsetzung ist fraglich.

Die Sonderklasse 4060, die aus mehrdeutigen Zuordnungen der Standortkomponente Substrat / Lagerung zu SUB_{unten} resultierte, tritt auch bei folgenden Einheiten nennenswert auf und unterstützt die Umsetzung der geologischen Einheiten in $SUB_{\text{unten}} 4$, Kalk.

- $mm^{\hat{m}}$ → Großteil wie erwartet auf 4 Kalk, 4060 akzeptabel.
- $mu^{\hat{k}.^{\hat{m}}}$ → desgl.
- $z2K^{\hat{k}.^{\hat{m}}}$ → desgl.

Unklar sind folgende Kombinationen bzw. Umsetzungen:

- $smS4smT^{\hat{t}}$ Tonige Grenzschichten, Thüringischer Chiroteriensandstein (PREUSS et al. 1991:92)
 - Substrat 2, basenarme Silikatgesteine. Diese Gesteine weisen eventuell die Charakteristika von Substrat 2 auf oder aber wegen geringer Ausdehnung kann keine plausible Kombination erkannt werden.
- $suB^{\hat{t}.^{\hat{u}}}$ Bröckelschiefer, → je zur Hälfte auf 5 Ton und 4060, Umsetzung ist fraglich.
(suB seit 1991 zum Zechstein gestellt, vgl. JORDAN 1994:14)

Derartige Gegenüberstellungen unterstützen die Entscheidung bei der Umsetzung aber nur bedingt. In manchen Fällen führen sie auch zu Unsicherheiten. Zusammenzufassen ist, dass die geologischen Einheiten anhand der Werteverteilung in vorhandenen digitalen Datensätzen unter Zuhilfenahme gutachterlicher Entscheidungskriterien in eine Information „unterlagerndes“ Substrat umgesetzt werden können. Rein tabellarische Betrachtungen täuschen aber über die Verteilung der Werte im Raum hinweg, was im folgenden Abschnitt besprochen wird. Das eigentliche Problem, das bei kleineren Einheiten zum Tragen kommt, ist die Lagegenauigkeit in der GK25.

Kartographische Betrachtung:

Das Problem der räumlichen Auflösung innerhalb der GK25, die im Gegensatz zur FSK10 im Maßstab 1:25.000 vorliegt, drückt sich in tabellarischen Übersichten wie im vorherigen Abschnitt aus und soll an einem Beispiel graphisch erläutert werden. Die geologische Einheit $so^{\hat{t}.^{\hat{u}}}$ entfällt je zur Hälfte auf $SUB_{\text{unten}} 4$ Kalk und 5 Ton (Abb. 42). Die Umsetzung dieser geologischen Information zu Tonstein (5) erscheint plausibler. Im Prinzip läuft im Mittelteil der Abbildung die Grenze zwischen dem Röt und dem Unteren Muschelkalk der GK25 parallel zur Grenze zwischen Ton und Kalk der FSK10, allerdings um 30-40 m versetzt. Folgende Gründe sind möglich:

zum Großteil nicht, die Lockersubstratklassen Löss (3) und Kolluvien (7) der FSK10 in adäquater Form auszuweisen (5.3.1).

Exkurs: Morphologisch wirksame stratigraphische Folgen in der GK25

Innerhalb einer stratigraphischen Einheit existieren morphologisch unterschiedlich wirksame Folgen, z.B. im Unteren Muschelkalk (Wellenkalk) die Oolith-, Terebratel- und Schaumkalkbänke, die resistenter als das umgebende Material sind (vgl. Bl. 4224 Lauenberg, Schichtenprofil). Sie sind insofern für die Modellierung bedeutsam, als dass sie Hangverflachungen und –versteilungen, damit auch unterschiedliches Gefälle im Gewässer und damit auch unterschiedlichen Talformen, bedingen. Diese Wirksamkeit hängt allerdings auch von dem Winkel zwischen Schicht und Hangfläche ab, also davon, wie die Schicht ausstreicht. Da das Einfallen der Schichten in den seltensten Fällen senkrecht ist, sind auch noch geringmächtige Schichten von etwa 10 m Mächtigkeit in der GK25 darstellbar. Das Fehlen in der digitalen GK25 wäre negativ zu beurteilen. Solche Schichten sind aber in dieser Datenbasis enthalten. Auch in anderen Blättern, z.B. 4024 Alfeld, findet sich diese Differenzierung, so dass es in in dieser Hinsicht kein Generalisierungsproblem gibt.

7.1.4 „Unterlagerndes Festgestein“ und „Decke“, hergeleitet anhand von Schichtmerkmalen

7.1.4.1 Substrateigenschaften: Kalk- und Basengehalt und Bodenart

Im vorherigen Abschnitt wurde der Zusammenhang GK25-FSK10 nur in Hinblick auf das Unterlagernde anhand von kartierten Werten aufgezeigt. Hier nun wird eine umfassendere, gutachterliche Herleitung der Zusammenhänge in Hinblick auf Decke und Unterlagerndes vorgestellt.

Die Zuordnung „abgedeckter“ geologischer Einheiten (5.3.1) zu Substratklassen kann nicht nur so wie in 7.1.3 beschrieben durchgeführt werden. Dort waren 28 Einheiten des Merkmals STRPETA diskutiert worden, weil sie analysierbare Ausdehnungen von mehr als 5 ha in Kombination mit FSK10-Daten aufwiesen (Tab. 32). Um räumliche Fehlbereiche (Lücken) in der geologischen Datenbasis zu verhindern, müssen auch anderen geologischen Einheiten, auf denen noch kein Forstlicher Standort kartiert wurde oder derartige Kombinationen aus GK25 und FSK10 nicht digital vorliegen, Substratmerkmale zugeordnet werden. Aus Gründen der Rationalisierung und weil die Petrographieangabe aussagekräftiger als die Stratigraphie ist, wird die Informationslage PETA benutzt.

7.1.4.1.1 Grundsätzliches zur Wertung geologischer Einheiten

Neben der Mächtigkeit einer Decke ist auch deren Zusammensetzung forststandörtlich bedeutsam. Sie ist nach dem Kriterium Bodenart (bzw. Skelettgehalt) und bodenchemischen Kriterien zu differenzieren. Bodenarten ergeben sich aus der Klassifizierung der Korngrößenanteile (Fraktionen), unterschieden einerseits nach dem Feinboden, dessen Fraktionen bis zu 2 mm Durchmesser aufweisen dürfen und andererseits nach dem Grobboden (AG BODENKUNDE 1994). Der Begriff „Skelettboden“ ist oftmals synonym zu „Grobboden“ verwendet worden. Zuweilen versteht man unter Skelett nur Material größeren Durchmessers, wie z.B. Steine (>6,3cm) (Übersicht PREUSS et al. 1991:123). Das Thema „Skelettgehalt“ wurde indirekt in Abschnitt 7.1.1 behandelt. Hier sind Sand- und Tongehalt eines der Themen. Weiterhin ist die bodenchemische (Stamm)Eigenschaft zu beschreiben. In 2.3.2.1 wurde der Hintergrund der Differenzierung in kalkhaltige, basenreiche und basenarme Substrate erläutert.

Decken können nur aus Material aufgebaut sein, das

- am Ort unterhalb der Decke ansteht, also solifluidal eingemischt wurde
- an Orten oberhalb der Lokalität ansteht und hangwärts verfrachtet wurde
- am Ort äolisch sedimentiert wurde oder
- an Orten oberhalb der Lokalität äolisch sedimentiert und dann hangwärts verfrachtet wurde

Daraus ergibt sich die Betrachtung der Verhältnisse am Ort und auch im Einzugsgebiet (EZG). Um den Zustand zu charakterisieren werden in diesem Abschnitt u.a. wieder die Merkmale des „Anstehenden“, basierend auf der GK25, benutzt (Informationslage PETa, 5.3.1). (Verwendung ähnlicher IL in 7.1.1.1.1 und 7.1.3). Drei modelltechnisch fragliche Punkte sind im Vorfeld zu nennen:

- 1 Ausschließliche / Mehrfache Wertung geologischer Einheiten hinsichtlich der Bedeutung für Substrate.
- 2 Wertung der geologischen Einheiten in kategorischer oder gradueller Weise.
- 3 Fehlende geologische Festgesteinsinformation im Bereich mächtiger, einschichtiger Lockersedimente.

Die Arbeiten gliedern sich erstens in die Zuordnung der geologischen Einheiten zu Substrateigenschaften, zweitens die Füllung der Bereiche fehlender geologischer Information, drittens die Berechnung des Anteils bestimmter Werte im Einzugsgebiet und viertens die integrierende Charakterisierung der Decken.

7.1.4.1.2 Einfache oder mehrfache Zuordnung

Eine mehrfache Zuordnung von geologischen Materialien ist sowohl für die Herleitung des Unterlagernden als auch der Decke notwendig: Man könnte zwar annehmen, dass für das **Unterlagernde** (vgl. 7.1.3) eine geologische Einheit sofort nur je einer Substratklasse zugeordnet werden sollte (einfache Zuordnung), weil das übergeordnet Charakteristische in Hinblick auf die Lagerungsklassenausweisung ausgedrückt werden muß. Bei dem Unterlagernden gibt es bekanntermassen keine Materialmischung, die es zu umschreiben gilt. Aber jedes einzelne, petrographisch definierte Material kann mehrere substratrelevante Eigenschaften aufweisen und auch petrographische Kombinationen bilden in der GK25 geologische Einheiten. Die Eigenschaften müssen zuerst zusammengestellt und gewichtet werden; erst dann kann eine Entscheidung zugunsten nur einer Eigenschaft fallen, also entweder für ein Merkmal aus dem Bereich Chemismus oder für eines aus dem bodenmorphologischen Bereich (~Bodenart) (vgl. Tab. 3: Unterlagerndes ist basenarm, basenreich, kalkhaltig oder tonig). Bei der **auflagernden Decke** ist der Sachverhalt ähnlich. Hier fand aber zusätzlich eine Mischung verschiedener Substrate statt, die die jetzige Zusammensetzung bestimmt. Dies ist die Hypothese. Zuerst müssen die Komponenten festgestellt und dann kann entschieden werden, was das Prägende der Decke ist. Damit wird in der Synthese schließlich klar, welcher Substratklasse die Decken zuzuordnen sind. In Kombination mit dem zuvor festgelegten Unterlagernden ergibt sich abschließend die Substrat / Lagerungsklasse (vgl. Tab. 3 und Karte 3b).

Einer geologischen Einheit kann anfangs z.B. sowohl der Wert „tonig“ (bodenmorphologisch) als auch der Wert „kalkhaltig“ (bodenchemisch) zugewiesen werden, denn in einem Material liegen immer für beide Kriterien bestimmte Werte vor: Basenarmes Material kann sowohl tonig als auch grobkörnig sein, toniges Material kann basenreicher oder basenärmer sein. Eine Zuordnung von geologischen Einheiten zugleich unter den Gesichtspunkten „Bodenart“ und „Bodenchemismus“ ist nicht möglich, weil es sich um voneinander unabhängige Kriterien handelt.

Modelltechnisch muss dies anfangs in mehrere separate Variablen münden, damit die gesamte Information erhalten bleibt. Wenn ein Gestein z.B. sowohl tonig als auch kalkhaltig ist, müssten die Werte zweier Variablen an einem Ort bei kategorischer Wertung jeweils „1“ sein.

Vordergründig betrachtet muss die Zuordnung aus der Perspektive aller geologischen Einheiten geschehen und also zu folgenden substrat(klassen)bezogenen Informationen führen:

Bodenchemie	Bodenart
basenärmer (~ 2)	toniger, (~ 5)
kalkhaltig (~ 4)	sandiger, (~ -)
basenreicher (~ 6)	

Die Information der Datenbasis ist nur dahingehend zu werten, dass die Lagerungsklassenabgrenzung ermöglicht wird (vgl. Tab. 3):

- In Substratklasse **2** „basenarme Silikatgesteine“ muss nur bekannt sein, ob eine basenreichere oder kalkhaltige Decke <7 dm Mächtigkeit vorliegt (26). Wenn nicht, wird die Lagerungsklasse durch das Unterlagernde (24, 25), die Mächtigkeit oder den Grad der Verlehmung bestimmt (21, 22, 23).
- Bei Substrat **3** „Löss“ ist eine Differenzierung der Decken nach Verunreinigung durch Sandgehalt (31) und nach Stauwassereffekten (ggf. Tongehalt, 34) angebracht.
- Für die Zugehörigkeit zu Substrat **4** „Kalke“ ist die Kenntnis der kalkhaltigen Decke nur notwendig, wenn basenarmes oder basenreiches Material oder (Bröckel-)Ton unterlagert (45, 46, 48). Ist das unterlagernde Kalk, wird über die Deckenmächtigkeit differenziert (41, 42, 43, 44, 47).
- Eine Ausweisung der Substratklasse **5** „Tone“ kommt deckenbedingt nur in Betracht, wenn eine >7 dm mächtige Tondecke über Kalk auftritt (54) oder das ganze Profil aus Tongestein bzw. seinem Verwitterungsprodukt besteht (51, Pelosol). Ansonsten darf das Deckenmaterial nicht mächtiger als 7 dm sein, um Substrat 5 zu ermöglichen.
- Ausweisung der Substratklasse **6** „basenreich“ findet statt, wenn >7 dm mächtige, basenreiche Decken vorhanden sind (64, 65) oder geringmächtigere Decken mit basenreicher Unterlagerung.

Wenn Decken die markanten, erforderlichen Eigenschaften nicht aufweisen, wenn sie also „undifferenziert“ sind, ist es bereits durch die Kenntnis des Unterlagernden und der Mächtigkeit möglich, Substrate und Lagerungsklassen zu definieren. Die aktuelle Modellierung kann sich demnach auf die Frage fokussieren, wo mutmaßlich kalkhaltige, basenreichere, tonigere oder sandigere Decken liegen.

Die nächste Frage ist allerdings, ob die Existenz von z.B. Ton bzw. Kalk in solch einem Fall sofort kategorisch (1 oder 0) oder zuerst und bis zu einer abschließenden Wertung graduell (abgestuft) ausgedrückt werden soll. Dies wird im nächsten Abschnitt erörtert.

7.1.4.1.3 Wertung geologischen Materials in Standortkartierungspraxis und Literatur

Eine Übersicht der Sedimentgesteine, gegliedert nach aufbauenden klastischen Bestandteilen, Kalk- und Dolomitvorkommen, Salzen und Erzen einerseits und nach den Entstehungsprozessen wie chemischer Ausscheidung oder mechanischem Absatz gibt eine tabellarische Zusammenstellung bei MURAWSKI (1983:263). Dort wird bereits die Untrennbarkeit von Merkmalen, die die Bodenart und den Bodenchemismus bestimmen könnten, beispielsweise anhand der Position des Kalksandsteins, deutlich.

In AKS (1996:82) wird die Differenzierung von Sand-, zu Lehm-, Schluff- und Tongesteinen einerseits und von einem **Karbonatgehalt** von 2-10 m% bis >90 m% andererseits aufgezeigt (Locker- und Festkarbonatgesteine). Ein Extrem mit >90 m% Karbonat ist Kalkstein bzw. Dolomitstein, er ist also kaum mit Sand oder Ton ausgestattet. Ein anderes Extrem ist kalkhaltiger Sandstein (^{^s,k}) bzw. mergeliger Tonstein (^{^t,m}). Die Differenzierung des Kalksandsteins in ^{^sk} und ^{^ks} kommt im SSG (PREUSS et al. 1991) allerdings nicht vor, sondern nur der Wert ^{^sk}. Die Einteilungen strukturieren das sog. Drei-Stoff-System, wie es z.B. bei SCHIMMER (1985:14f) gezeigt wird. Dort sind Ton, Sand und Kalk die drei aufbauenden Komponenten von Mischgesteinen wie den Mergeln. Die Bezeichnung der Gesteinsarten der Mergel richtet sich nach den Kalk-Ton-Anteilen. Ton ist demnach „Nicht-Karbonat“ („Karbonat“ und „Kalk“ werden dort synonym verwendet).

Auch bei RUCH (1986:13) wird das Drei-Stoff-System angeführt; hier wird eine sog. Zerfallsanfälligkeit der Gesteine verdeutlicht: Beispielsweise Kalksandsteine zeigen geringe Werte, Schiefertone hingegen hohe. Die Zerfallsanfälligkeit nimmt mit steigendem CaCO₃-Gehalt ab, d.h., je mehr **Karbonat** enthalten ist, desto weniger leicht zerfällt das Gestein. Dies erscheint plausibel wenn man Schichtmächtigkeitsprofile in GK25-Blättern oder deren Erläuterungen heranzieht, so z.B. für die Oberkreide in JORDAN (Bl. 4024, 1994:45). Leicht ausräumbar sind Kalkmergel, Tonmergel und Tone im Gegensatz zu bankigen Kalken und kieseligen Mergelsteinen der Kreide (STEIN 1975:23).

Böden werden bei >2 m% Karbonat des Feinbodens als „**carbonathaltig**“ bezeichnet (Kürzel c3, AKS 1996:81) und ab 10 m% (c4) im Zuge der Standortkartierung als kalkhaltig eingestuft. D.h., wenn dieser Wert nicht erreicht wird, sind Einordnungen in „basenreich“ oder „basenarm“ angebracht. Dies bezieht sich auf den Boden, nicht auf das geologische Ausgangsmaterial, das im aktuellen Modellierungsschritt zuerst zu werten ist. Der Calcit- bzw. Dolomitgehalt ist in Karbonatgesteinen mindestens um den Faktor 3 höher (SCHEFFER et al., S. 8). Sind in eine Decke also derartige Verwitterungsrückstände eingemischt, ist Karbonathaltigkeit zumindest wahrscheinlich.

Auf z.B. die erhöhten Karbonatgehalte in Oberflächen-Hangproben und Tiefenproben in Rutschungsmassen im Übergangsbereich vom Röt zum Hangenden Muschelkalk in der westlichen Kuppenrhön weist SCHENK (1983:35f) hin. Er spricht auch von gegenüber den Tiefenwerten geringeren oberflächennahen Karbonatgehalten.

In der Feldansprache wird ein Boden(horizont) mit Bestimmtheit zu den **Kalken** geordnet, wenn bereits das Beträufeln der Profilwand mit HCl zu einer Reaktion wie Aufschäumen oder Brausen führt. Wenn hingegen einzelne Steine, der Skelettanteil, der Bodenmatrix nach Anschlagen und Beträufeln der frischen Flächen Reaktion zeigen, aber diese Bestandteile nicht häufig sind, wird kein hoher Carbonatgehalt (>= c4) im Gesamtboden vorliegen können und eine Zuordnung zu den **basenreichen** Decken, die laut GÖS auch schwach kalkhaltig sein können (2.3.2.1), ist angebracht.

Eine Zusammenstellung der **Karbonate** wie z.B. Calcit CaCO_3 , Dolomit $[\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2]$ und Siderit FeCO_3 (verwitterungsbedingt) mit Löslichkeitsprodukten bietet MERKEL (1992:5ff). Diese Zusammenstellung kann zur Orientierung bei der Einschätzung petrographischer Einheiten dienen.

Die großen Unterschiede im Kalkgehalt von **Mergelgesteinen** werden z.B. bei SCHIMMER (1985:27-31), allerdings im Rahmen der Klassifizierung von Mergeln der Oberkreide im Ruhrgebiet, dargestellt. Kreidezeitliche Mergel finden sich auch im niedersächsischen Bergland, so in Bl. 4024 Alfeld der GK25 (vgl. STEIN 1975:27). Bei SCHIMMER rangieren die Kalkgehalte zwischen 4 und 40 %, meistens zwischen 10 und 25 %. Insofern ist eine genauere graduelle Zuordnung von Mergeln, die nur durch das Teilkürzel \wedge^m gekennzeichnet sind, zu Kalk und Ton nicht möglich, sondern nur die ungefähre Einschätzung der Kalkhaltigkeit als solche. Sie wurde später in Anlehnung an MURAWSKI (1983:138) ausgeführt.

Eine **Tondecke** stamme in fast allen Fällen aus der Verwitterung von Kalk-, Mergel- und / oder Tonstein (Kaolinisierung, tertiäre Reste). Wenn mächtiger, stamme sie aus einer fluviatilen Akkumulation dieses Lockermaterials Ton (STÜBER 2002, mündl.). Eine mächtigere Tondecke wird allein durch in-situ-Verwitterung nicht angenommen. „Bei der Verwitterung der Carbonatgesteine werden die Carbonate gelöst und weggeführt, so daß die nicht carbonatischen Anteile (vorwiegend Glimmer und Tonminerale) als bodenaufbauende Verwitterungsrückstände zurückbleiben.“ meinen dazu SCHEFFER et al. (S. 8).

Eine „Korngrößenverteilung des Lösungsrückstandes aus Unterem Muschelkalk“ in einer Arbeit zum Kohlenstoff-Haushalt auf Kalkstein des Göttinger Waldes gibt ANDRES an (1984:19, mit Verweis auf THÖLE & MEYER (1979)). Nach der Lösung kommt es auf dem μ_2 zu einem nichtkarbonatischen Rückstand, der nur knapp 6 % des ursprünglichen Materials ausmacht. Er wird zu etwa 58 % aus Ton, etwa 41 % aus Schluff und etwa 1 % aus Sand aufgebaut. Die Humusform der untersuchten Böden weist auf „basenreiche, tonhaltige und relativ nährstoffreiche Böden ... hin“ (ANDRES S. 16), was wieder die Untrennbarkeit von Bodenart und -chemie und auch die Verwandtschaft von kalkhaltigen zu basenreichen Böden aufzeigt.

Auf die enge Verbindung von **Kalk** und **Ton** weist auch der GÖS 2000 hin, indem er in der Substratgruppe 5, „Tone“, auch kalkhaltige Tonsteine erlaubt. Die Entwicklung von Pelosolen auf Tonstein geht nach SEMMEL (1983:50) zumindest auf Keuper- oder Rötgesteinen mit dem Auftreten von „hohem Basengehalt“ einher, der allerdings schwer aufzuschliessen sei.

Eine Bohrung am Südrand des Asse südlich von Braunschweig im FOA Königslutter in den Grauen **Tonsteinschichten** (smST1) der Solling-Folge beschreibt SIGGELKOW (2000). Interessant sind die Verweise auf die Karbonatgehalte, die von 7-29 % rangieren (S. 22). Innerhalb der eigentlichen Tone dieser Formation liegen sie bei etwa 19 % (~Mergelton). In den eingeschalteten Siltgesteinen treten Werte um 27 % auf. Neben dem eigentlichen **Karbonatgehalt** sind wegen des Nährelements Magnesium die **Dolomitanteile** bedeutsam: Innerhalb der Tone liegen sie bei 100 %, innerhalb der Siltsteine bei 37 % (S. 23). Die geologische Kartierung legt Wert auf die stöchiometrische Differenzierung der karbonatischen Anteile, wie die Bohrungsbeschreibungen bei SIGGELKOW zeigen: Der Dolomitgehalt (Gew%) im Karbonat und der Ca-Gehalt (Mol%) im Dolomit im Tiefenverlauf der Bohrung werden genau dokumentiert. In Bergland-Blatt 4224 Lauenberg der GK25, in dem auch das Validierungsgebiet liegt (Abb. 31), lautet die Information der stratigraphischen Einheit smST1:

- Hauptpetrographie \wedge^t, \wedge^u
- Nebenpetrographie $\text{bane}(\wedge^s, \text{bk-dn, pg, zt-q})$

Vornehmlich findet sich Tonstein ([^]t), ergänzt durch Schluffstein ([^]u) und in der Nebenpetrographie ergänzt durch dünnbankige, plattige oder quarzitisches Sandsteine ([^]s), wie es den Angaben von SIGGELKOW zur Korngröße entspricht. Angaben zu Mergel- oder Kalkgehalt fehlen allerdings. Dies mag an der abweichenden Fazies dieser etwa 80 km entfernten Orte liegen und zeigt die lithologische Vielfalt in stratigraphischen Einheiten. Dünnmächtige Einschaltungen in das Tongestein bewirken im übrigen keine Differenzierung, die für ein Modellergebnis ausschlaggebend wäre, in der GK25-Geometrie. Nachgeordnete Bestandteile werden in der Reihung der Hauptpetrographie hinten oder erst in der Nebenpetrographie kodiert (vgl. 5.3.1).

Auch in einer Oberen Rötfolge kann vom **Tonstein** abweichendes Gestein vorkommen, wie die bei SCHENK (1983:16) genannten Quarzitschichten (so, [^]q) zeigen. Insofern ist es richtig, sich vornehmlich an petrographischen Werten zu orientieren und die Stratigraphie, mit der etwas Irreführendes assoziiert werden kann, nur als ergänzende Information aufzufassen.

Tongestein verwittert davon abgesehen nicht ausschließlich zu tonigen Lockermaterialien, sondern weist Korngrößen bis hin zum Kies bzw. Grus (<63 mm) auf. SCHENK (1983:40) spricht, allerdings in Bezug auf größere Tiefen unter Geländeoberfläche, von „verfestigten primären Aggregaten“, was zumindest für das Unterlagernde von Belang wäre. Trotzdem kann davon ausgegangen werden, dass der Tonrückstand in Decken aus Ton relativ hoch ist.

Es stellt sich die Frage, wo überhaupt Decken mit **tonigem Charakter** auftreten. Extrem selten sind nach STÜBER die Konstellationen „Ton über basenarm“ und „Ton über basenreich“; sie kommen z.B. im FOA Kattenbühl südwestlich von Göttingen vor. Wegen der Seltenheit sind diese Konstellationen in den GÖS bzw. in Tab. 3 nicht explizit eingebaut. Bei größerer Tondeckenmächtigkeit, mit prägendem Ton, würden solche Standorte der Lagerungsklasse 51 zugeordnet werden. Wegen der standörtlich-ökologischen Nähe werden die Konstellationen „basenreich über Ton“ und „Ton über Kalk“ in Lagerungsklasse 54 vereinigt; die Konstellation >3 dm „Kalk über Ton“ ist aber standörtlich markanter, so dass die separate Lagerungsklasse 48, also Substratklasse „Kalk“ resultiert.

Stratigraphische und petrographische Informationen zum Mittleren Muschelkalk u.a. in Südostniedersachsen, also im „Bergland“, liefert DÜNKEL (1992:135). Er zeigt den Aufbau dieser Formation im Wesentlichen aus **dolomitischen** und **sulfatischen** Gesteinen, also einem Wechsel aus z.B. mergeligem Dolomitstein und dolomitischem Kalkstein einerseits und tonigem Gips, Gips und Anhydrit andererseits (vgl. PREUSS et al., S. 91, Dolomit- und Salinarfolge).

Eine „Übersicht der Vorkommen **löslicher Gesteine** im Niedersächsischen Bergland“ gibt PRIESNITZ (1972:319): Er gliedert stratigraphisch in 21 Abteilungen bzw. Stufen und petrographisch dreifach nach **Kalk** bzw. **Dolomit**, **Gips** und **Salz**. Von den möglichen 63 Kombinationen beinhalten 22 lösliche Gesteine, so z.B. die Kalke des Oberen Muschelkalks oder die Gipse des Malm. Auch wenn derartige Gesteine nicht flächenproportional zu den genannten Kombinationen austreichen dürften, so wird doch klar, dass Bodenbildung auf löslichem Gestein einen beträchtlichen Anteil Südniedersachsens ausmacht.

Wann gilt ein Gestein bzw. sein Verwitterungsprodukt als „**basenreich**“? Bei der Gruppe der Sedimentgesteine könnten z.B. Karbonate mit hohen Dolomitanteilen als basenreich eingeschätzt werden, da Dolomite nennenswerte Mg-Gehalte aufweisen. Es besteht aber das Problem der Abgrenzung zu den Kalken. Nach WACHTER (2002, mündl.) wurden dolomitische Karbonate in der Vergangenheit zu den Kalken, d.h. zu Substratklasse 4 gestellt.

Stratigraphisch betrachtet würden Sedimentgesteine, die zu Substratklasse 6 „**basenreich**“ tendieren, z.B. im Flammenmergel der Unterkreide vorkommen (WACHTER 2002, vgl. STEIN 1972:24). Auch wiesen Gesteine des Unteren Keupers, und zwar die mit mergeligem, tonigen Charakter (Lettenkeuper) ebenfalls basenreiche Lagen auf; desweiteren ist der Steinmergelkeuper (km²) zu nennen (vgl. Abb. 10). Der Basenreichtum sei allgemein durch die Freisetzung des Magnesiums und Kaliums aus der Silikatverwitterung bedingt, wobei die vorangegangene Bodenentkalkung in dem Sinn positiv zu beurteilen wäre, als dass nunmehr kein freies Calcium vorhanden und somit die Verfügbarkeit der Nährelemente Mg und K in Lösung eher gegeben sei.

Im Fall von entkalkten Mergeln besteht die Tendenz zur Klassifikation „**basenreich**“ (6), während frische Mergel oftmals so kalkhaltig sind, dass Substrat 4 gerechtfertigt ist (WACHTER 2002, mündl.). Hier ist eine unterschiedliche Wertung hinsichtlich der Decken (→ 6) und des mutmaßlich kalkhaltigen Unterlagernden (→ 4) angebracht (Tab. 36).

Bei hohen Tongehalten (\wedge tm, Mergelton) und geringerem Kalkgehalt ist das Verwitterungsprodukt zwingend tonig und es tritt die Frage nach der prägenden Eigenschaft auf: Trotz eines erhöhten Basenangebots könnte Substratklasse 5, der **Ton**, resultieren. Somit würde die Bodenart in den Vordergrund treten, der Chemismus in den Hintergrund. Später wurde aber anders gehandelt (Tab. 37).

Schließlich ist zu hinterfragen, wann ein Deckenmaterial als **schwach verlehmt** zu bezeichnen ist. Stark sandiger Lehm enthält z.B. einen Sandanteil von 45-68 m%, während schwach sandiger Lehm bei gleichem Tongehalt 25-43 m% enthält (AKS 1996:78). Die Verwitterung eines typischen „Sandsteins“, des Bausandsteins aus dem Mittleren Buntsandstein (sm₂) beschreibt STEIN (1975:89, 92f), mit Verweis auf HAGEDORN et al. (1972) für den Reinhäuser Wald südöstlich von Göttingen (FOA Reinhausen). „Dem gegenüber führte die petrographische Beschaffenheit des Bausandsteins unter frostklimatischen Verhältnissen zum Gesteinszerfall bis zur Sandfraktion.“ „Auf Grund eines Mangels an Ton ist hier nicht die Voraussetzung zur Fließerdebildung gegeben.“ Dies beinhaltet nicht nur die Information der erhöhten Sandbereitstellung, sondern auch des geringen Tongehalts im Verwitterungsprodukt dieser geologischen Einheit. Hier ist das typisch sandige Substrat nach forststandörtlicher Einschätzung zu erwarten.

Im übrigen kann der Abschnitt „Böden“, der in jeder GK25-Erläuterung enthalten ist, zur Beantwortung der Frage nach Verwitterungsrückständen auf bestimmten Gesteinen beitragen. Z.B. für Blatt 4127 Seesen (HINZE 1976:115), das auch das „Bergland“ berührt, findet sich zu Röt 3 und Röt 4: „Tiefer Pelosol, z.T. schwach kalkhaltig (steiniger, lehmiger Ton bis schwach schluffiger Ton über Ton- und Schluffstein)“. Der allgemeine Charakter der Bodenbildung wird so deutlich. Die weniger bedeutsamen Nebenbestandteile werden ebenfalls erwähnt, ihre genauere Quantifizierung ist, wie auch in der digitalen Nebenpetrographieangabe, nicht möglich. Daher kann eine Aussage nicht für den Ort, die Zelle Z0, getroffen werden. Man kann nur davon ausgehen, dass die Nebenbestandteile mit in die talwärts anschließenden Decken eingemischt wurden. Aber auch diese Quantifizierung ist schwierig: Wieviel

Nebenmaterial müsste vorkommen, damit es sich nennenswert in der Decke niederschlägt? (vgl. Exkurs „Nebenpetrographie“ 7.1.4.1.10.).

7.1.4.1.4 Ablehnung einer primär kategorischen Zuordnung

Oftmals treten in der GK25 eindeutige Bezeichnungen wie \wedge^k auf, die in Substrat 4 (kalkhaltig) einzuordnen wären. Offensichtlich uneindeutige wie \wedge^m (Mergelstein) treten ebenfalls auf. Häufig sind auch Kombinationen und die Palette der einzelnen vorkommenden Gesteine ist groß (PREUSS et al. 1991:128ff). Getrennt nach Zielrichtung „Decke“ und „Unterlagerndes“ gibt Tab. 33 einige Beispiele möglicher kategorischer Zuordnungen.

Tab. 33: Mehrfache kategorische Zuordnung geologischer Einheiten zu Substrateigenschaften.

Geologische Einheit	Substrateigenschaft	Unterlagerndes	Decke
\wedge^s	-, sandiger	-	1
	2, basenarm	1	-
$\wedge^s.\wedge^{sk}.\wedge^{tbl}$	-, sandiger	-	1
	2, basenarm	1	-
	4, kalkhaltig	0	1
	5, tonig	0	1
\wedge^m	4, kalkhaltig	1	1
	5, tonig	0	1
+B	6, basenreich	1	1

\wedge^s = Sandstein, $\wedge^s.\wedge^{sk}.\wedge^{tbl}$ = Sandstein, Kalksandstein, blättriger Schieferthon, \wedge^m = Mergelstein, +B = Basalt.

Eine solche direkte kategorische Zuordnung von petrographischen Werten bzw. von ganzen geologischen Einheiten zu Substrateigenschaften ist aber nicht angebracht, weil

- in den einzelnen Gesteinen unterschiedliche Intensität einer substratrelevanten Eigenschaft bzw.
- in geologischen Einheiten ein unterschiedlicher Anteil der einzelnen Gesteine vorliegt.

Die Einheit \wedge^k beispielsweise wird einen viel höheren Grad an Kalkhaltigkeit aufweisen als die Einheit \wedge^m oder $\wedge^t,\wedge^u,\wedge^d$. Kenntnisse zu den Komponenten von Gesteinen, zu deren Verwitterungsrückstand und somit zu deren Beitrag zur Bodenbildung im vorherigen und in diesem Abschnitt leiteten dazu über, zuerst eine graduelle anstatt einer kategorischen Zuordnung aller einzelnen Gesteine zu Substrateigenschaften durchzuführen, weil die zu modellierenden Eigenschaften auf den unterschiedlichen Ausgangsmaterialien offensichtlich in unterschiedlicher Intensität auftreten. Es sollte erst eingeschätzt werden, ob eine geologische Einheit die fragliche Eigenschaft in nennenswerter Intensität aufweist.

Die alternative, bereits anfänglich kategorische Wertung geologischer Einheiten basiert im Grunde ebenfalls auf einer graduellen Wertung. Es besteht allerdings der Unterschied, dass die einzelnen Wertungen der Gesteine, ihrer Kombination, ihrer Bedeutung für eine substratrelevante Eigenschaft und schließlich ihre hierarchische Einordnung dabei nicht quantitativ gegeneinander abgewogen und nicht offensichtlich werden. Hier hingegen sollten Herleitungsschritte transparent und numerisch nachvollziehbar dargelegt werden. Wie kann die „Intensität“ einer Eigenschaft bestimmt werden? Es wird folgender, in 4 Schritte aufgeteilter Vorschlag gemacht.

7.1 Substrate und Lagerungsverhältnisse

7.1.4.1.5 Schritt 1: Graduelle Zuordnung

Einzelne Gesteine wurden anfangs hinsichtlich der Substrateigenschaften graduell (0 - 100) gewertet.

Tab. 34: Primäre graduelle Wertung petrographischer Angaben hinsichtlich Kalkhaltigkeit, Basenreichtum, Tongehalt und Sandgehalt (k, r, t, s). pW ~ primäre Wertung (Schritt 1).

PET	pWk	pWr	pWt	pWs	PET	pWk	pWr	pWt	pWs	PET	pWk	pWr	pWt	pWs
^ah	100	0	40	10	^km	80	0	65	20	^reich	0	100	20	50
^c	0	0	10	40	^kp	100	0	60	20	^s	0	0	0	100
^c(^g)	0	0	20	50	^kze	100	0	60	20	^s-^q	0	0	0	100
^d	35	0	60	20	^m	50	0	80	0	^sar	0	0	10	80
^dz	35	0	60	20	^m-^k	75	0	75	10	^sk	40	0	10	80
^ec	0	0	10	70	^m-^t	30	0	85	0	^t	0	0	100	0
^eoo	0	0	10	50	^md	45	0	75	10	^t-^u	0	0	70	20
^fs	0	0	0	80	^mk	70	0	75	10	^tbi	0	0	50	50
^fs-^ms	0	0	0	85	^ms	0	0	0	90	^tbl	0	0	50	50
^g	0	0	20	50	^ms-^gs	0	0	0	95	^ti	0	0	20	50
^il	0	0	30	50	^mst	40	0	65	30	^tsf	0	0	50	50
^k	100	0	60	20	^q	0	0	0	100	^u	0	0	20	30
										^y	100	0	40	10

Die Wertungen sind als Schätzungen der Eigenschaften bei Verwitterung und Verwendung des Materials bei der Bodenbildung zu sehen. Im engeren Sinn wird jedes Gestein bezüglich jeder substratrelevanten Eigenschaft gewertet, denn auch der Wert „0“, also die Abwesenheit einer Eigenschaft, ist ebenso wie etwa der Wert „70“ das Ergebnis einer Wertung. Gestein ^reich ist ein fiktives Beispiel für ein Gestein, das nicht kalkhaltig, aber basenreich ist. Es kam in der Datenbasis nicht vor.

Graduelle primäre Wertungen z.B. der Tonrelevanz und der Kalkrelevanz müssen sich nicht zu „100“ ergänzen, da sie aus den unabhängigen Wertungskriterien Bodenchemismus und -morphologie stammen. Auch kann ein Material etwas Tonverwitterungsrückstand und gleichzeitig Sandrückstand hervorbringen. Tab. 34 und Tab. 36 enthalten Petrographiewerte, die auf kompletten GK25-Blättern basieren und beziehen somit auch einige Gesteine ein, die vornehmlich im Solling oder im Harz vorkommen (Beispiel ^tsf); sie gehen über das „Bergland“ hinaus.

7.1.4.1.6 Schritt 2: Positionsbedingte Gewichtung

Wenn mehrere Gesteine eine geologische Einheit aufbauen, weisen vorgenannte Gesteine größere Anteile als die nachgenannten auf. Die realen, genauen Anteile sind dem GK25-Anwender unbekannt.

Folgende Übersicht zeigt extrem und moderat unterschiedliche oder ausgeglichene, positionsbedingte mögliche Anteile von vier Gesteinen (^a, ^b, ^c, ^d) an einer geologischen Einheit:

Position	1	2	3	4	Unterschiedlichkeit
Gestein	^a	^b	^c	^d	
Anteile	0,70	0,10	0,10	0,10	extrem unterschiedlich
Anteile	0,27	0,26	0,24	0,23	extrem ausgeglichen
Anteile	0,40	0,30	0,20	0,10	moderat unterschiedlich

Im ersten Extremfall kann das erstgenannte Gestein 70 % ausmachen, wenn man von je mindestens 10 % der folgenden drei anderen Gesteine ausgeht. In dem zweiten Extremfall sind alle vier Komponenten fast gleichverteilt (Anteile 0,27-0,26-0,24-0,23). Es sollte für ein Modell ein Ausgleich geschaffen werden, der sich gut an alle Möglichkeiten anpasst und deshalb nur so justiert, dass vorgenannte Gesteine etwas

stärker gewichtet werden: Unter den Prämissen, dass die vierte Position mindestens 10 % und die dritte Position weniger als 25 % aufweisen soll, kommt bei Zielsumme 1 die Gewichtung 0,4-0,3-0,2-0,1 in Betracht. Sie stellt eine moderate Stufung dar, die auf die primäre Wertung einzelner Gesteine (Schritt 1) angewendet werden muß. Gewichtungen stellen gewissermaßen die zweite graduelle Wertung dar. Eine weitere, eher indirekte, graduelle Wertung ergibt sich schon dadurch, dass bei 4 gegenüber 3 beteiligten Gesteinen die Gewichtungen der einzelnen Positionen geringer ausfallen müssen, wenn die Gewichtungen moderat abgestuft sind; gleiches gilt für den Vergleich von 3 und 2 beteiligten Gesteinen.

Tab. 35 zeigt Gewichtungen einiger Kombinationen anhand eines Beispielgesteins (^bsp). Gewichtung ist eine Form der Wertung im Gesamtkontext. Sie hängt von der Position des Gesteins und der Anzahl der beteiligten Gesteine ab.

Tab. 35: Gewichtung eines petrographischen Wertes (^bsp) je nach Kombinationen mit anderen Gesteinen und nach Position in der Reihung bezüglich seiner Bedeutung für das resultierende Substrat (Schritt 2).

Anzahl der petrographischen Angaben	Kombinationen (^a = anderes)	Position von ^bsp	Gewichtung graphisch	Gewichtung
1	^bsp	-	oooooooooooooooooooo	1,00
2	^bsp, ^a	vorn	oooooooooooo	0,70
	^a, ^bsp	hinten	ooooooo	0,30
3	^bsp, ^a, ^a	vorn	oooooooo	0,45
	^a, ^bsp, ^a	mitten	ooooooo	0,33
	^a, ^a, ^bsp	hinten	ooooo	0,22
4	^bsp, ^a, ^a, ^a	vorn	oooooooo	0,40
	^a, ^bsp, ^a, ^a	vorn-mitten	ooooooo	0,30
	^a, ^a, ^bsp, ^a	mitten-vorn	oooo	0,20
	^a, ^a, ^a, ^bsp	hinten	oo	0,10

Je mehr „andere“ Gesteine die petrographische Gesamtinformation aufbauen und je weiter hinten ^bsp in der Reihung positioniert ist (Gewichtungsfaktoren), desto geringer sollte die mit dem Gestein assoziierte, resultierende Eigenschaft sein.

Innerhalb der 4er-, 3er- als auch der 2er-Kombinationen muss eine von vorne nach hinten abnehmende, moderat abgestufte Gewichtung auftreten; die Summe der Gewichtungen sollte 1 annehmen. Zwischen den Blöcken ergibt sich allerdings die Konsequenz, dass ein relativ weit vorne genanntes Gestein, obwohl es in einem Block mit mehr Komponenten vorkommt, höher gewertet wird, als eines in einem Block mit weniger Komponenten, in dem es relativ weit hinten steht.

Fasst man Tab. 35 als ein Beispiel für die Herleitung der Kalkhaltigkeit anhand von ^k auf, so müssen entsprechende Zuordnungen auch für andere Gesteine wie beispielsweise ^m durchgeführt werden. Bei einer Kombination von drei oder vier Gesteinen können drei kalkhaltige Gesteine, ^k, ^m und ^d, vorkommen. Deren graduelle und gewichtete Wertung muss für die geologische Einheit addiert werden, wie es in Tab. 36 anhand der in der Datenbasis vorkommenden kalkrelevanten Gesteins-Kombinationen dargestellt ist.

Wieviele einzelne petrographische Festgesteinswerte könnten in Niedersachsen vorkommen ?
Ausgehend von PREUSS et al. (1991:128f) ist die Anzahl etwa folgendermaßen abzuschätzen:

Merkmalsgruppen sedimentärer Festgesteine	Anzahl einzelner Werte
Korngröße	18
biogen	11
eisenhaltig	7
karbonatisch	46
Salzgesteine	9
Kieselgesteine	4
Tonsteine und Schiefer	13
quarzführend	12

Hinzuzurechnen sind kohlehaltige Sedimente, die aber in Niedersachsen geringen Anteil haben dürften. Wenn man auch die Schiefer nicht einbezieht, weil sie vornehmlich im Harz und nicht im Bergland vorkommen und wenn man weiter davon ausgeht, dass der Symbolschlüssel Geologie bundesweit gilt und somit nicht alle Einzelwerte in Niedersachsen auftreten dürften, bleiben schätzungsweise 50 mögliche Einzelwerte. Bei bis zu 4 Kombinationen sind theoretisch etwa 250.000 Hauptpetrographieangaben denkbar. Auch wenn davon nur 1/100 tatsächlich auftreten würde, erforderte eine graduelle Wertung z.B. für die Eigenschaft „kalkhaltig“ weitreichende Arbeiten, wenn die Perspektive von allen geologischen Einheit zur potenziellen Substrateigenschaft gerichtet ist. Das Wertungsverfahren muss also wegen der Kombinationsmöglichkeiten automatisiert werden.

Zwei Voraussetzungen dafür sind bereits gegeben:

- die primäre Wertung einzelner Petrographieangaben je substratrelevanter Eigenschaft (Tab. 34) und
- die positionsbedingten Gewichtungen (Tab. 35).

7.1.4.1.7 Schritt 3: Wertung zur Feststellung von Eigenschaften

Eine dritte Wertung ist die Nutzung fixer Schwellenwerte, um Kalkhaltigkeit, Basenreichtum, Basenarmut, Tonhaltigkeit und / oder Sandhaltigkeit festzulegen. Tab. 36 integriert primäre Wertungen und positionsbedingte Gewichtungen und stellt das Verfahren bis incl. Schritt 3 dar. Nur einige Kombinationen bzw. Einzelwerte wurden ausgewählt, um die Differenzierung je nach Anzahl und Art beteiligter Gesteine zu verdeutlichen.

Der Chemismus wird im oberen Tabellenteil behandelt; alle Gesteine, die nicht kalkhaltig oder basenreich sind, gelten forststandörtlich als basenarm. WACHTER (2002, mündl.) meint allerdings, dass tonreichere Substrate auf einer Skala von „basenreich“ zu „basenarm“ immerhin im schlechteren Drittel der basenreichen Gesteine einzuordnen sind, weil durch die Existenz der Tonminerale eine große Oberfläche der Bodenpartikel den Austausch von gelösten, basischen Elementen fördert. Modelltechnisch muss dies aber nicht umgesetzt werden, weil, wie zuvor hergeleitet, bezüglich des Chemismus Standorte basenarm sind, wenn nicht die anderen beiden Werte „kalkhaltig“ und „basenreich“ zutreffen. Dies wird über die Einschätzung des Kalkgehalts behandelt.

Weiter ist die Beeinflussung der Bodenart als eigene Größe einzuschätzen. Beispiele dieser Wertung enthalten der mittlere und untere Tabellenteil.

Tab. 36: Wertung petrographischer Kombinationen hinsichtlich Kalkhaltigkeit (k), Basenreichtum (r) und Basenarmut (a), Ton- und Sandhaltigkeit (t, s) (Schritt 3).

pW ~ primäre Wertung, g1-g4 ~ positionsbedingte Gewichtung, UNT~Unterlagerndes, DEC~Decke. Fett ~ Schritte.

		Schritt 1				Schritt 2				Schritt 3									
Pet. Einheit	n	pWk	pWk	pWk	pWk	g1	g2	g3	g4	pWkg1	pWkg2	pWkg3	pWkg4	Sumk	UNT-k	DEC-k	UNT-r	DEC-r	UNT-a
Schwelle															>30	> 50	>10	>30	<=10
^s	1	0				1,00				0,0				0,0	0	0	0	0	1
^m	1	50				1,00				50,0				50,0	1	0	0	1	0
^s, ^t	2	0	0			0,70	0,30			0,0	0,0			0,0	0	0	0	0	1
^k, ^m	2	100	50			0,70	0,30			70,0	15,0			85,0	1	1	0	0	0
^k, ^m, ^s	3	100	50	0		0,45	0,33	0,22		45,0	16,5	0,0		61,5	1	1	0	0	0
^d, ^k, ^m, ^s	4	35	100	50	0	0,40	0,30	0,20	0,10	14,0	30,0	10,0	0,0	54,0	1	1	0	0	0

Pet. Einheit	n	pWt	pWt	pWt	pWt	g1	g2	g3	g4	pWtg1	pWtg2	pWtg3	pWtg4	Sumt	UNT-t	DEC-t
Schwelle															>=65	>=65
^s	1	0				1,00				0,0				0,0	0	0
^m	1	80				1,00				80,0				80,0	1	1
^s, ^t	2	0	100			0,70	0,30			0,0	30,0			30,0	0	0
^k, ^m	2	60	80			0,70	0,30			42,0	24,0			66,0	1	1
^k, ^m, ^s	3	60	80	0		0,45	0,33	0,22		27,0	26,4	0,0		53,4	0	0
^d, ^k, ^m, ^s	4	60	60	80	0	0,40	0,30	0,20	0,10	24,0	18,0	16,0	0,0	58,0	0	0

Pet. Einheit	n	pWs	pWs	pWs	pWs	g1	g2	g3	g4	pWsg1	pWsg2	pWsg3	pWsg4	Sums	DEC-s
Schwelle															>90
^s	1	100				1,00				100,0				100,0	1
^m	1	0				1,00				0,0				0,0	0
^s, ^t	2	100	0			0,70	0,30			70,0	0,0			70,0	0
^k, ^m	2	20	0			0,70	0,30			14,0	0,0			14,0	0
^k, ^m, ^s	3	20	0	100		0,45	0,33	0,22		9,0	0,0	22,0		31,0	0
^d, ^k, ^m, ^s	4	20	20	0	100	0,40	0,30	0,20	0,10	8,0	6,0	0,0	10,0	24,0	0

Die Tab. 36 beinhaltet insgesamt, dass

- jede petrographische Angabe eine Zuordnung von 0 bis 100 erfährt (Schritt 1),
- der unter a genannte Wert mit der Position in der Reihung gewichtet wird (Schritt 2),
- die unter b berechneten Werte summiert und
- darauf schließlich Schwellenwerte angewandt werden (Schritt 3).

Die abschließende deckenbezogene Wertung (Spalten „DEC“) findet erst dann statt, wenn die flächengewichteten Anteile der Substrateigenschaften hergeleitet worden sind (7.1.4.1.12). Wenn aber ein EZG vollständig aus nur einer Petrographiekombination aufgebaut wird, gilt bereits die hier eingetragene Wertung für die Decke.

Wenn die Nebenpetrographie begründetermassen nicht einbezogen wird, gibt es in der GK25-Petrographieangabe der Datenbasis keine Gesteine, die als basenreich zu werten wären, ohne dass sie nicht auch Kalk enthalten würden. Deshalb bietet es sich an, vorläufig nur diejenigen Einheiten als basenreich zu werten, die dem Anspruch der Kalkhaltigkeit nicht genügen. Dies wird in den Spalten oben rechts ausgedrückt. Ein seltenes Beispiel für potenziell basenreiches, aber nicht kalkhaltiges Gestein wäre ^kmg, Kalium-Magnesium-Salz, aus der Gruppe der Evaporite (SSG, S. 132).

Es waren unterschiedliche Schwellen minimaler Summenwerte zu definieren, ab denen eine Decke bzw. das Unterlagernde als „kalkhaltig“, „basenreich“, „basenarm“, „tonig“ oder „sandig“ gilt.

Bei der Wertung als kalkhaltig und basenreich wird der strengere Schwellenwert für die Decke angewandt: Da in der Decke eher Entkalkung stattgefunden hat als im Unterlagernden, muss die Schwelle bei der Decke höher gesetzt werden, um noch Kalkhaltigkeit bzw. Basenreichtum anzunehmen.

Dies ist dies bei dem Tongehalt nicht unbedingt so: Ein Unterlagerndes ist dann „Ton“, wenn es mergelig oder tonig ist (\hat{m} oder \hat{t}) oder wenn z.B. bei einer Kombination aus zwei petrographischen Informationen die erste \hat{t} lautet und die zweite auch einen Tongehalt vermuten lässt (\hat{u} , Schwelle ≥ 65). Standortlich wirksam sollte hier derjenige Ton sein, der als Verwitterungsprodukt zwischen den unverwitterten Zersatzstücken, die bis in die Skelettfraction reichen, vorkommt. Primär weniger tonhaltige Gesteine wie z.B. \hat{km} können aber bei Verwitterung in der Decke trotzdem höhere Tongehalte bedingen, da in Oberflächennähe die Verwitterung beschleunigt ist und die gröberen Fraktionen eher zerlegt werden (ebenfalls Schwelle ≥ 65).

Die zweite bodenartenbezogene Entscheidung zielt auf den Sandgehalt bzw. auf den Verlehmungsgrad ab; eine hohe Schwelle von >90 für Deckenmaterial wurde angesetzt; für das Unterlagernde entfällt Vergleichbares. Jede petrographische Kombination wurde wie in Tab. 36 gewertet.

Anschließend ist eine kategorische Zuordnung unerlässlich.

7.1.4.1.8 Schritt 4: Abschließende hierarchische Wertung

Die vierte und letzte Wertung ist die hierarchische, die bestimmte Eigenschaften anderen gegenüber betont (Tab. 37). Bei der primären, mehrfachen Zuordnung in Hinblick auf Substrateigenschaften stand kein Entscheidungsproblem an, denn alle Indizien für eine bestimmte Eigenschaft werden weitergegeben (Schritt 1). Um das Entscheidungsproblem für das „Unterlagernde“ und für die letztendliche, zweite Zuordnung bzw. Wertung der Decke zu eliminieren, wurde eine Entscheidungshierarchie formuliert:

- 1 Wenn Decke / Unterlagerndes zu einem bestimmten Grad kalkhaltig ist, findet eine Zuordnung zu Kalk statt. Bezogen auf das **Unterlagernde** wurde entschieden, dass eine geologische Einheit als „kalkhaltig“ (Substrat 4) gilt, wenn die Endbewertung ≥ 30 ist (Tab. 36). Dies ist beispielsweise bei einem reinen Dolomitgestein ohne jegliche Kombinationen mit anderen Gesteinen der Fall.
Bezogen auf die **Decke** wurde entschieden, dass sie als „kalkhaltig“ (Substrat 4) gilt, wenn die Endbewertung ≥ 50 ist. Dies ist z.B. bei einem $\frac{1}{2}$ Anteil reinen Kalkgesteins im EZG der Fall.
- 2 Wenn basenreiches Material oder schwächerer Kalkgehalt als in Punkt 1 definiert angenommen werden kann, tritt die Zuordnung zu basenreichen Decken / Unterlagerndem ein.
- 3 Trifft weder Punkt 1 noch 2 zu, ist aber erhöhter Tongehalt anzunehmen, gilt das Material als tonig.
- 4a In dem nicht von Punkt 1 bis 3 betroffenen Unterlagernden gilt „basenarm“ per Ausschlußverfahren.
- 4b In den nicht von Punkt 1 bis 3 betroffenen Decken kann eine weitere Differenzierung über das Merkmal Sandgehalt (\sim Verlehmungsgrad) stattfinden.

Tab. 37: Hierarchische Festlegung der Eigenschaften geologischen Materials für die Beschreibung der Lagerungskomponente Decke und Unterlagerndes nach Bodenchemie und Bodenart.

Lagerungs-komponente	Kriterium	Reihenfolge Festlegung		Festlegung im Ausschlußverfahren
Decke	Bodenchemie	1. kalkhaltig	2. basenreich	(5. undifferenziert)
Decke	Bodenart	3. tonig	4. sandig	(5. undifferenziert)
Unterlagerndes	Bodenchemie	1. kalkhaltig	2. basenreich	4. basenarm
Unterlagerndes	Bodenart	3. tonig	-	-

Während bei der Beschreibung des Unterlagernden ein Ausschlußverfahren dahingehend benutzt werden kann, dass alle Standorte den Wert „basenarm“ erhalten, wenn sie nicht kalkhaltig, basenreich oder tonig sind, bleibt bei der Beschreibung der Decken die Eigenschaft „sandig“ (im Sinn von „schwach verlehmt“) zu prüfen. Wenn auch diese nicht zutrifft und Decken somit weder kalkhaltig, basenreich, tonig noch sandig sind, also keinen derartigen Wert tragen, tritt trotzdem kein Informationsmangel ein, weil die Lagerungsklassen über die Deckenmächtigkeit und das Unterlagernde bestimmt werden können (vgl. Tab. 3 und Tab. 18).

Eine Zuordnung zu Substrateigenschaften muss mehrmals erfolgen: Anfangs zu deckenrelevanten Substrateigenschaften und Eigenschaften des Unterlagernden und schließlich eine Zuordnung des Ergebnisses der Einzugsgebietsbeschreibung zu dem prägenden Substratcharakter der Decke. Dies kann nur nach dem hierarchischen Schema erfolgen, da zwei nicht verknüpfbare Kriterien, Bodenart und Bodenchemie, bewertet werden müssen. Die Hierarchie ist forststandörtlich bedingt:

Das häufigste unterlagernde Material, gewissermaßen der Standard, ist das basenarme Silikatgestein (Substrat 2), es bringt auch die typischen niedersächsischen Waldgesellschaften bzw. Waldentwicklungstypen hervor. Es ist zuerst festzustellen, ob abweichendes Material vorliegt. Darum steht das basenarme Substrat in der Hierarchie bzgl. der Beschreibung des Unterlagernden hinten. Die Hierarchie beginnt mit dem Kalk, weil er auf Seiten des Chemismus das Gegenteilige darstellt und auch - bei genügend Wasserversorgung- die besten Standorte als Voraussetzung für Edellaubholzanbau mit sich bringt (Tab. 9, Abb. 9). In der Reihe des Chemismus steht basenreiches Silikatgestein zwischen beiden genannten Substraten. Nun ist toniges Substrat einzuordnen. Wegen der engen Verwandtschaft und der somit schwierigen Trennbarkeit sollten die Wertungen „kalkhaltig“ und „basenreich“ direkt aneinander anschließen; es ergibt sich die Reihe: „kalkhaltig - basenreich - tonig – basenarm“. Die deckenbezogene Hierarchie sollte -auch aus pragmatischen Gründen- möglichst gleich sein. Basenarmut ist hier als Information nicht notwendig. Stattdessen ist schwacher Verlehmungsgrad bzw. erhöhter Sandgehalt von Interesse. Somit resultiert die Wertungshierarchie „kalkhaltig - basenreich - tonig - sandig“ bzw. keiner der Werte, d.h. „undifferenziert“.

Tab. 38: Abschließende hierarchische Wertung substratrelevanter Eigenschaften petrographischer Einheiten. Wertung der Ergebnisse von Schritt 3 in Schritt 4. k ~ kalkhaltig, r ~ basenreich, a ~ basenarm, t ~ tonig, s ~ sandig, u ~ undifferenziert. Vgl. Tabelle im Anhang.

Bodenbereich	Unterlagerndes				Decke				Unt.	Dec.
	k	r	t	a	k	r	t	s		
Eigenschaft									-	-
Schritt	3				3				4	
[^] fs				1					a	u
[^] m	1		1			1	1		k	r
[^] s				1				1	a	s
[^] k. [^] m	1				1		1		k	k
[^] m. [^] t	1		1			1	1		k	r
[^] s. [^] t				1					a	u
[^] t. [^] u			1				1		t	t
[^] u. [^] t				1					a	u
[^] k. [^] m. [^] s	1				1				k	k
[^] d. [^] k. [^] m. [^] s	1				1				k	k
[^] mst. [^] s. [^] m. [^] t		1				1			r	r

Schritt 4 bringt die Informationslage bzw. Variable UNT-GK (Unterlagerndes nach GK25) mit vier Werten hervor. UNT-T-INT und UNT-S-INT sind zwei vorgeschaltete Variablen der Intensität des Unterlagernden bzgl. Ton und Sand. Die Arbeiten werden mit Modellnummer MN 6 benannt.

Schritt 3 wendet Schwellenwerte später erst auf die Variablen der „Intensitäten der Eigenschaften im EZG“ an: DEC-S-INT, DEC-K-INT, DEC-T-INT, DEC-R-INT (s~sandhaltig, k~kalkhaltig, t~tonhaltig, r~(basen)reich, int~Intensität).

Die Karten 2a und 2b zeigen DEC-S-INT und DEC-T-INT. Genauerer beinhaltet Abschnitt 7.1.4.1.12.

Zwischenergebnis zur Wertung geologischer Einheiten im Allgemeinen:

Es sollte zuerst eine mehrfache, graduelle Zuordnung von (stratigraphisch-)petrographischen Werten durchgeführt werden. Da die resultierenden Endwerte

- 1 nicht als numerisch absolut korrekte Einschätzungen angesehen werden können und
 - 2 vor allem die beiden unabhängigen Kriterien Bodenart und Bodenchemie erfasst werden müssen
- ergibt sich ein Entscheidungsproblem, das innerhalb eines hierarchischen Ansatzes gelöst werden muß.

Substratbezogene Wertungen müssen, weil die Schritte automatisiert umsetzbar sind, nicht für alle Kombinationen von Petrographieangaben erstellt werden, sondern nur für einzelne petrographische Angaben. Der Ansatz ist insofern flexibel, als dass die einzelnen Einstellungen leicht geändert und somit gehandhabt werden können.

Unwägbarkeiten beinhalten allerdings alle Schritte, nämlich

- die graduelle, erste Zuordnung einer Eigenschaft (10 - 100) je einzeltem Gestein,
- die Gewichtung in der Reihung der Gesteine als Komponenten der geologischen Einheit,
- die nächste Wertung (Eigenschaft vorhanden ja / nein, bzgl. der Decke und des Unterlagernden),
- die abschließende Wertung (Eigenschaft prägend ja /nein, bzgl. der Decke und des Unterlagernden).

Zwischenergebnis Unterlagerndes:

Tab. 39 zeigt die Gegenüberstellung hergeleiteter und kartierter Eigenschaften des Unterlagernden.

Tab. 39: Kombination der Informationslage UNT-GK und abgedeckter Substrate der FSK10 (SUB_{unten}). Zellen 100m², vgl. Tab. 41.

UNT-GK	SUB _{unten}	2 basenarm	4 kalkig	5 tonig	6 basenreich
2 basenarm		318933	2292	16514	634
4 kalkig		3042	26308	2432	14
5 tonig		1305	3421	4921	-
6 basenreich		15	17	-	269

In drei Fällen sind die Ergebnisse zufriedenstellend: Substrat 2, 4 und 6 (UNT-GK) entfallen zumeist auf die gleichen Klassen im Unterlagernden (SUB_{unten}). Nur Klasse 5, tonig, entfällt zu einem beträchtlichen Teil auf Substrat 4, kalkig. Dies bedeutet: Mehr petrographische Werte, die Kalk und Ton aufweisen, hätten zugunsten von Klasse 4 anstatt Klasse 5 bewertet werden müssen (~größere Intensität der Kalkhaltigkeit, Wertungsschritt 1). Möglicherweise ist auch Wertungsschritt 4, der das Vorkommen von Kalk schon besonders berücksichtigt, noch mehr in Richtung der Ausweisung der Kalke zu justieren.

Um die Decken weiter zu charakterisieren, sind zusätzliche Überlegungen und Schritte notwendig.

7.1.4.1.9 Exkurs: Materialbewegungen im Einzugsgebiet

Inwiefern kann ein EZG überhaupt auf die Decken und somit Lagerungsklassenverteilung einwirken ?
Drei Diskussionspunkte dazu sind:

1 Geologisch unterschiedliches Material liefert sowohl am Ort als auch innerhalb der Decke, in der es transportiert wurde, als auch in der Decke, in der es heute liegt, unterschiedliche Mengen an Zersatz. Somit ist die Mischung in einer Decke nicht unbedingt proportional zu den Anteilen des EZG an diesen unterschiedlichen Gesteinen. Die Mischung wird noch weiter durch Lößenwehungen und -umlagerungen überprägt. Wenn man nicht von einer wirklichen „Vermischung“ der Ausgangsgesteine ausgeht, sondern von einem laminaren Fließen, so könnten Gesteine aus verschiedenen Entfernungen zur Zelle Z0 in verschiedenen Tiefen des Lockermaterials vorkommen; so beschreibt STAHR (1979:10) mit Verweis auf FEZER (1953) zu Untersuchungen im Schwarzwald, dass „das höher Anstehende immer die obere Decke bildete“. Da eine „Decke“ im forststandörtlichen Sinn (GÖS 2000, Tab. 3) im Profil oben auftritt, wäre es sinnvoll, genauer zu bearbeiten, wie dieser Bereich differenziert und geprägt worden sein kann. Da ein danach ausgerichtetes Modell aber mit zu vielen Unbekannten zur Fließgeschwindigkeit, zum Einbau des Zersatzes, zur Lößbeimischung etc. gespeist werden müßte, wird dieser Faktorenkomplex modelltechnisch nicht einbezogen. Prozesse werden nicht modelliert. Die Sichtweise ist eher pragmatisch; das Vorkommen bestimmter Charakteristika soll abgeleitet werden.

2 Könnte bei großer Entfernung von geologisch fremdartigen Substraten zu Z0 das fremdartige Material die Zelle Z0 nicht erreicht haben ? Selbst lange Fließwege in bewaldeten EZG des niedersächsischen Berglandes sind selten über 2000 m. Dies läßt sich durch GIS-Funktionen oder durch einen Blick auf eine Forstkarte im Maßstab 1:50.000 leicht schließen. Nimmt man eine nur 6.000jährige Phase der Solifluktsprozesse an (vgl. Übersicht Hochglazial der Weichsel-Kaltzeit, MURAWSKI 1983:253) und geht von einer Geschwindigkeit von 30 cm/a aus, so ist diese Strecke überbrückbar. Allerdings sollte man zwischen Verfrachtung auf flächenhaften und in linienhaften Reliefelementen unterscheiden: Auf sehr flach geneigten Hängen wird zwar auch Solifluktion stattgefunden haben, aber möglicherweise waren dort die Geschwindigkeiten geringer. I.d.R. sind aber flache Hangabschnitte kürzer als 2000 m; insofern ist Zulieferung fremden Materials auch zu Zellen am Fuß schwach geneigter Hänge denkbar.

3 Unterschiedliche Neigung in und zwischen EZGs dürfte die Zulieferung von verschiedenen anstehenden Gesteinen zu Z0 nicht differenziert haben, wenn die Zeiträume lang genug waren, um aus allen Teilen des EZG Material anzuliefern (vgl. Punkt 2).

7.1.4.1.10 Exkurs: Nebenpetrographie

Mit einem reinen Sandstein (^s) assoziiert man gemeinhin Basenarmut; eine einfache Assoziation zu Tonstein (^t) gibt es hingegen nicht. Wenn ein Festgestein ausschließlich nach dem Merkmal Korngröße benannt ist (PREUSS et al. S. 128), so ist ggf. wenig über den Chemismus bekannt. Es besteht aber keine Lösung darin, für die Festlegung „kalkhaltig“, „basenreich“ bzw. „basenarm“ die Nebenpetrographie heranzuziehen, weil sie sich auf Lagen, Bänke etc. bezieht, die nicht das Hauptmaterial ausmachen.

Stratigraphie	Nebenpetrographie	Entschlüsselung
krMT	zt("gk")	zum Teil Glaukonit
juPCT,juBT	bane(^et),ged(^et)	Bänke und Geoden Toneisenstein
juAM	ged(^et)	Geoden Toneisenstein
juG	ged(^et),ged(^k)	Kalkgeoden
ju	lag(ged-^et)	lagenweise Geoden Toneisenstein
km	lag(^y)	lagenweise Gips
km	bane(^mst)	Bänke Steinmergel (vgl. Abb. 10)

Vorgenannte Stratigraphie- und Nebenpetrographiewerte treten beispielsweise bei dem Hauptpetrographiewert \wedge t auf. Es finden sich Informationen zu dem Chemismus, allerdings nicht zu dem Chemismus des Tonsteins, sondern zu den Schichten oder Einlagerungen, die nicht als geologische Einheit explizit als Polygon der Karte ausgewiesen werden, sondern nur innerhalb des Tonsteins in geringem Maße vorkommen. Wo und in welcher Quantität ist offen. Somit bleibt in diesem Kontext nur festzulegen, ob solch ein Hauptgestein wie \wedge t oder \wedge u als kalkhaltig oder basenreich anzusehen ist. Wenn das nicht zutrifft, erhält es bodenchemisch im Ausschlußverfahren den Charakter „basenarm“. Die Nebenpetrographieangabe ist auch nicht für die Deckenbeschreibung geeignet, weil Spezifikationen wie „zt“, „vo“, „lag“ und „bane“ wenig quantifizieren und insofern unbekannt bleibt, welche Mengen von bestimmten, anstehenden Gesteinen in die Decke geliefert werden könnten.

7.1.4.1.11 Zusatzmodul 1: Füllung der Fehlbereiche der GK25

Das Fehlen der Information über das unterlagernde Festgestein im Bereich mächtiger Lockergesteine hat zweigeteilte Bedeutung. Es gibt sechs Kombinationen der Kenntnis des unterlagernden Gesteins am Ort (Z0) und im Einzugsgebiet:

Zelle am Ort (Z0)	Zellen im EZG
bekannt	vollständig unbekannt
	teilweise bekannt
	vollständig bekannt
unbekannt	vollständig unbekannt
	teilweise bekannt
	vollständig bekannt

Da alle Zellen außer denen ohne EZG sowohl Einzugsgebietszellen als auch aktuell betrachtete Zellen (Z0) sein können und die geologischen Verhältnisse am Ort ohnehin bekannt sein müssen (Unterlagerndes in Tab. 3), ist ein Füllen der Fehlbereiche notwendig.

Ohne ein Integration der geologischen Verhältnisse am Ort und des sehr nah gelegenen Teils des EZG, der nur die Lockermaterialbereiche (ohne Unterlagerndes) aufweist, müßte die Charakterisierung der Decke relativ ungenau sein, weil anzunehmen ist, dass die Verhältnisse in der Nähe bedeutsamer als die in größerer Entfernung sind. Ein Zusatzmodul zur Beschreibung des Festgesteins „unter“ dem Lockermaterial, das plausiblere Ergebnisse als ohne jegliche „Füllung“ der Fehlbereiche liefert, muss also gefunden werden.

Es wurde zugunsten eines „Einwanderns“ von Festgesteinen entschieden. Geologische Einheiten „wandern“ dabei in den informationsfreien Bereich iterativ ein, wobei jeweils nur die direkten Nachbarschaftswerte vergeben werden. Das Zusatzmodul löst zugleich das Fehldatenproblem am Ort und im EZG. Tab. 40 gibt einen Überblick zur Behandlung geologischer Einheiten. Der Bereich der Kombination c ist mit Umgebungsinformation zu füllen. Dabei wird die Festgesteinsinformation der Kombinationen a bzw. b benutzt.

Tab. 40: Kombinationen der petrographischen Information der 1. und 2. Schicht geologischer Einheiten und ihre Behandlung im Modell.

	Kombination a	Kombination b	Kombination c
Schicht 1	Festgestein	Lockergestein	Lockergestein
Schicht 2	keine	Festgestein	keine
Behandlung	1 verwenden	1 abdecken 2 verwenden	1 ignorieren, 2 einwandern lassen, verwenden

In die Fehlbereiche wurde vornehmlich diejenige geologische Einheit eingesetzt, die in der Umgebung mehrheitlich bzw. minderheitlich vorkommt (Funktionen *focalmajority*, *focalminority*). In den ersten beiden Schritten wurde der minderheitliche Wert weitergegeben, um seltene, kleine Einheiten nicht von vornherein zurückzudrängen. In den anschließenden Schritten wurde der aktuelle mehrheitliche Wert von Fehlzellenumgebungen weitergegeben⁸. Der Betrachtungsradius dabei betrug nur eine Zelle. Ein Erweitern des Radius ist nicht angebracht, weil damit Werte aus größerer Entfernung, die nicht an die Fehlzellen anschließen, eingesetzt werden könnten und ein sehr unruhiges Bild entstehen würde. Die ausschließliche Verwendung der Funktion *focalminority*, also die Verwendung der seltenen Werte der Umgebung, war nicht geeignet, weil auch dann unruhige Ergebnisverteilungen (Streifen) auftraten.

Theoretisch können bei einer Fehlfläche von nur einer Zelle acht Zellen der Umgebung die nächste Zelle sein und alle acht können unterschiedliche geologische Werte tragen. Es gäbe damit keine mehrheitliche geologische Einheit. Praktisch hat eine Fehlzelle entweder nur einen Nachbarwert oder, wenn es mehr als ein Wert ist, zwei, seltener drei oder vier Nachbarwerte. Auch dabei kann es leicht vorkommen, dass kein Wert der mehrheitliche ist. Das GIS kann somit nicht entscheiden, sondern vergibt in der aktuellen Situation „keine Daten“ (*nodata*), wenn mehrere Werte gleich häufig sind (meistens je einmal vorkommen). Da aber an anderen, nah gelegenen Orten Wertvergabe stattfindet, wird nach und nach der Fehlbereich doch gefüllt und in einer späteren Situation wird die anfangs nicht belegbare Zelle belegt; dies geschieht dann aber oftmals mit Werten, die unplausibel sind, weil sie nur in größerer Entfernung vorkommen. Um dies zu verhindern, wurde eine Fehlzelle, in deren Umgebung in einer einzelnen Situation kein mehrheitlicher Wert festzulegen ist, mit dem Wert belegt, der am nächsten liegt (Funktion *euclidean* mit Berechnung des sog. *allocate-grids* (ESRI 1991). Es handelt sich um einen iterativen Prozess, in dem immer nur ein eine Zelle breiter Fehlbereich gefüllt wird und das so entstandene Ergebnis im folgenden Durchlauf als Basis herangezogen wird.

Es fand also eine Mischung aus einer Vergabe nach mehrheitlichen Umgebungswerten und nächstgelegenen Werten statt. Dies führt bei den meisten Konstellationen von bekannten und unbekanntem Festgesteinsinformationen zu akzeptablen Ergebnissen. Werden Radien von nur einer Zellengröße benutzt, so werden bei *focalmajority* allerdings je nach Verlauf der Grenze zwischen „Festgestein bekannt“ / „unbekannt“ weit ausgedehnte Werte etwas bevorteilt. Dies war trotzdem die plausibelste Lösung.

⁸ Die analoge geologische Einheit qw„Lol / z1+2, weichselzeitlicher Lößlehm über Zechstein, trägt in der digitalen Version der zweiten Schicht die Petrographieangabe „?““. Dies ist mutmaßlich durch die Vielfältigkeit der Gesteine der Zechsteinfolgen bedingt (vgl. HINZE 1976:42-46). Insofern ist auch trotz „Abdeckung“ der Lockersedimente keine Festgesteinsinformation verfügbar. Dieser Fall nimmt im Harzvorland größere Flächen ein.

Die Abweichung von der Realität, die unweigerlich eingebaut wird, dürfte im Forstbereich relativ gering sein. Dafür sprechen zwei Gründe, die sich spiegelbildlich ergänzen:

- 1 Waldbereiche sind dort selten, wo mächtige, einschichtige Lockersedimente der GK25 vorliegen, denn diese finden sich vornehmlich in unteren Lagen, Waldbereiche in oberen Lagen.
- 2 Einzugsbereiche einer bewaldeten Zelle liegen naturgemäß oberhalb und dort sind die Anteile der Fehlflächen gering, weil dort die zuvor genannten Lockersedimente der GK25 kaum vorliegen.

Das Ergebnis der Füllung von ursprünglich unbekanntem Festgesteinsbereichen zeigt Abb. 43.

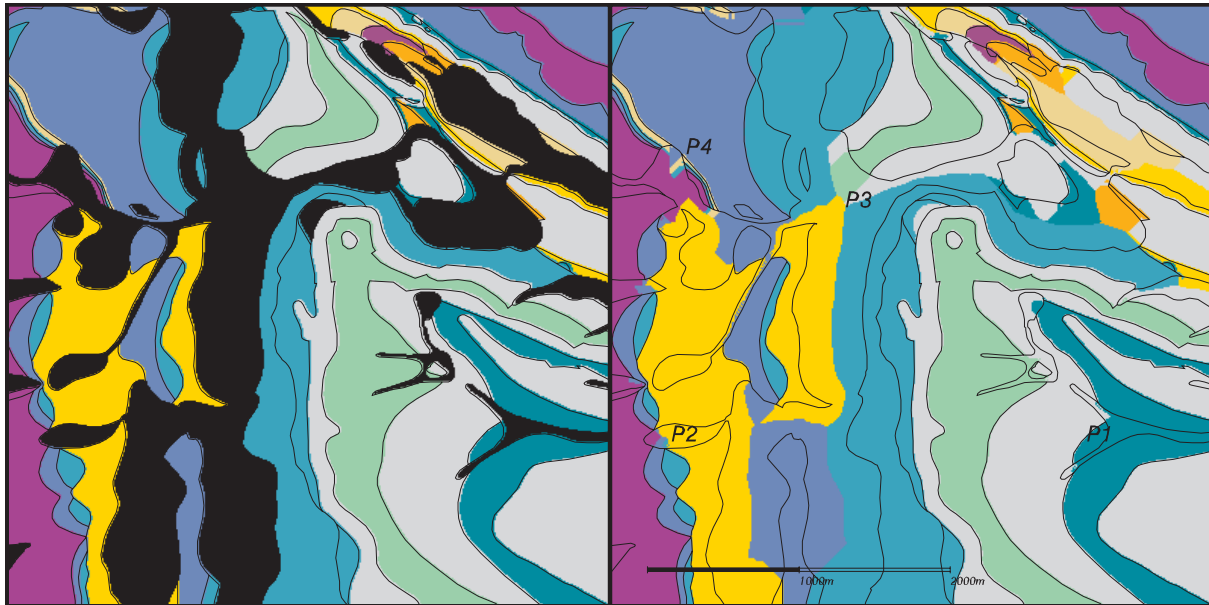


Abb. 43: Ausgangslage und Ergebnis der Füllung der Fehlbereiche des Festgesteins der GK25. Ergebnis nach 40 Füllschritten im Bereich des Validierungsgebietes (GK 4224). Fehlbereiche links schwarz. Maßstab 1:50.000. Ausschnitt 3553000 5731000 3557000 5735000. Farben sind Zufallssignaturen.

In forstlich genutzten Talbereichen, die wegen der GK25-Einschichtigkeit keine Festgesteine aufweisen, ist das Einwandern der GK25-Nachbareinheiten leicht plausibel zu gestalten, weil es sich um geringe zu überbrückende Distanzen handelt (P1). Auch an vielen anderen Orten sind die Ergänzungen wahrscheinlich korrekt, denn die Formen der modellierten Einheiten und der tatsächlich bekannten Einheiten verlaufen gleichsinnig (P2). An Punkt P3 ist weit ausgedehnte Füllung produziert worden. Vier Werte wandern in Richtung P3 von den Seiten ein. Obwohl das Bild nicht unplausibel erscheint, ist hier die Grenze einer „sicheren“ Füllung erreicht. Derartige weite Lockermaterialbereiche bzw. Fehlbereiche werden aber selten von Wald bestockt, so dass die zuvor erwähnte Fehlerhaftigkeit wenig Wirkung auf ein forstliches Standortmodell ausüben kann. Nicht korrekt ist die Konstellation z.B. an dem mit P4 bezeichneten Ort: Die Konstellationen sind zu ungünstig, um das Unterlagernde nachzubilden.

In der Flächensumme ist von plausiblen Größen der Einheiten auszugehen, weil kleine wie große Einheiten zur Füllung beitragen; deshalb sind auch plausible Beschreibungen des EZG im nächsten Abschnitt möglich.

Bei dem Verfahren der Ergänzung können natürlich keine geologischen Festgesteinseinheiten, die vollständig überdeckt sind und somit nicht in der digitalen GK25 verzeichnet wurden, abgebildet werden; nur diejenigen Einheiten „wandern“ in die Fehlbereiche ein, die trotz Lockermaterialbedeckung aufgenommen wurden. Die Schritte substratbezogener Wertung geologischer Einheiten finden erst nach dieser Füllung der Fehlbereiche statt.

7.1.4.1.12 Informationslagen der „Intensitäten der Eigenschaften im Einzugsgebiet“

Dieser Abschnitt korrespondiert mit der Wertung der Deckeneigenschaften in Schritt 3, der u.a. in Tab. 36 gezeigt wird. Er korrespondiert auch mit Abschnitt 5.3, da es sich um die Erstellung von Informationslagen bzw. Variablen handelt.

Nachdem den geologischen Einheiten bestimmte Eigenschaften zugeordnet worden waren, konnte mit den Funktionen *flowdirection* und *flowaccumulation* (ESRI 1991) über Gewichtungsgrids und die EZG-Größe der Anteil bzw. die Intensität einer Eigenschaft im EZG hergeleitet werden. Gewichtungsgrids geben z.B. die graduelle Kalkhaltigkeit einer Zelle je nach geologischer Einheit an. Ein ähnlicher Schritt fand bei der Modellierung der Substratklasse 1 statt; dort wurde der „Anteil Substrat-1-relevanter Gesteine“ hergeleitet (7.1.1.2.1).

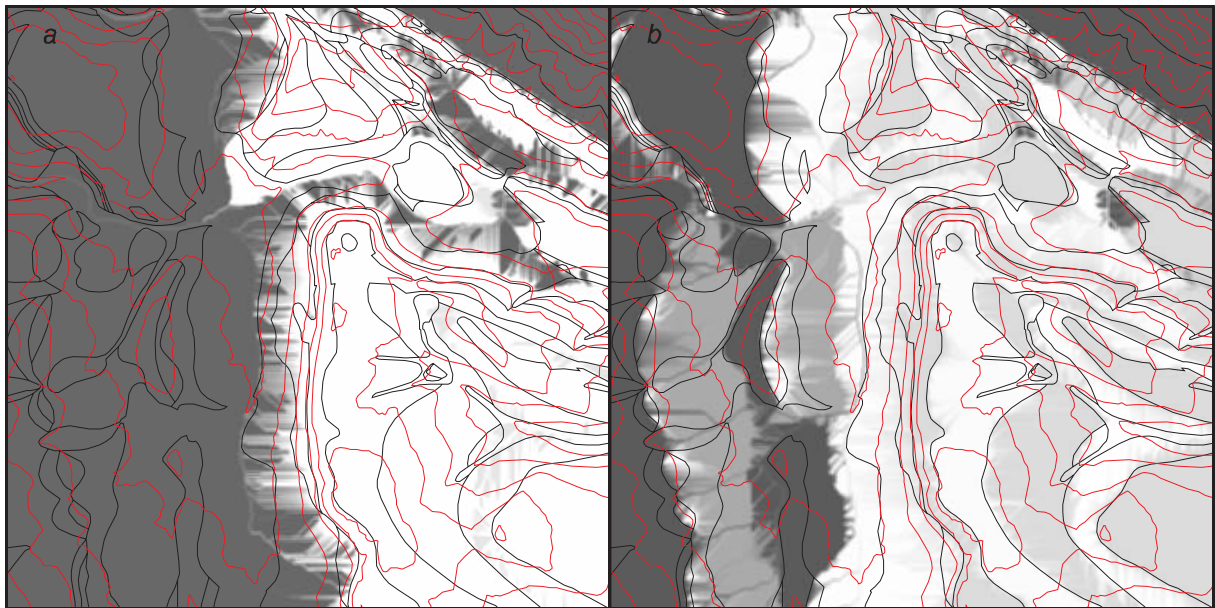


Abb. 44: Intensität von Substrateigenschaften im EZG nach mehrfacher Wertung geologischer Einheiten. a kalkhaltig, b tonig. Hell ~ hohe Intensität. Maßstab 1:50.000. Ausschnitt 3553000 5731000 3557000 5735000. Schwarz ~ geologische Einheiten, rot ~ Höhenlinien 20 m Äquidistanz.

In Abb. 44 a ist deutlich eine Dreiteilung zu erkennen: Es gibt den kalkunbeeinflussten Bereich (links), stark kalkhaltige Bereiche (rechts) und bandförmig, je nach Einzugsgebietslage jeder Zelle, auch Bereiche mittlerer Kalkhaltigkeit (hauptsächlich mitten).

In Abb. 44 b wird die stärker wechselnde Tonrelevanz der geologischen Ausgangsmaterialien gezeigt: Im Westen und Nordosten stehen Sandsteine mit geringer Tonhaltigkeit an (dunkel); Kalk-, Mergel- und Tonsteine bedingen den Wechsel mittlerer und hoher gradueller Tongehalte (grau, hell).

Bezüglich einer Decke kann beispielsweise folgende Aussage *nicht* getroffen werden:

„50 % des EZG werden aus Festgestein der Eigenschaft E aufgebaut.“

Stattdessen gilt:

„Das EZG hat eine flächengewichtete Eigenschaft E von 40“, wenn z.B. im gewichteten Mittel die Eigenschaft E mit 80 auftritt und das EZG zu 50 % aus Gesteinen dieser Eigenschaft aufgebaut ist (Graduelle Eigenschaft * Flächenanteil).

Wenn das EZG einer Zelle z.B. zur Hälfte durch kalkhaltige Festgesteinsbereiche (^k) aufgebaut wird, heisst dies im übrigen nicht, dass die Hälfte des Materials kalkhaltig ist. In dem EZG liegen durchaus

auch Lockermaterialien (ehemalige Lößablagerungen), die aber in der GK25 nicht auskartiert wurden, vor (5.3.1). Selbst dann, wenn in den Festgesteinsbereichen keine allochthonen Materialien vorhanden wären, müßten die unterhalb anschließenden Decken nicht solche Festgesteinsanteile aufweisen, die proportional zu den Festgesteinsanteilen des EZG wären. Vielmehr kann man nur von einer mehr oder minder starken Beeinflussung einer Lockermaterialdecke an Z0 durch Verhältnisse im EZG ausgehen. Wegen der beschriebenen Probleme bzw. Annahmen sind die Ergebniswerte nicht exakt proportional aufzufassen; vielmehr sind Tendenzen starker oder geringer Beeinflussung, „Intensitäten“, zu vermuten.

Sie werden in Form von IL bzw. Variablen vorgehalten: DEC-S-INT, DEC-K-INT, DEC-T-INT, DEC-R-INT (vgl. Tab. 38 bzw. Abschnitt 7.1.4.1.8 und Karte 2a und 2b).

Werden die vier Variablen in Schritt 4 (Tab. 38) abschließend gewertet, so dass nur die prägende Eigenschaft herausgestellt wird, so heisst die IL DEC-GK. Darin gibt es fünf Werte, weil die Deckeneigenschaft „undifferenziert“ zu den vier explizit ausgewiesenen Eigenschaften dazukommt (vgl. Tab. 41). Die Arbeiten werden mit Modellnummer MN 7 benannt.

Zwischenergebnis Deckeneigenschaft:

Die Tab. 41 gibt, ähnlich wie Tab. 39 für das Unterlagernde, Substrateigenschaften der Decke wieder. Decken der Substrate 3 und 7 sind ausgeschlossen. Vergleichbarkeit ist bezogen auf die anderen Eigenschaften kaum gegeben, weil die Kartierung auch Standorte, die bzgl. der Decke unterschiedlich sind, in einer Klasse subsummiert bzw. weil mehrmals bei geringer Deckenmächtigkeit weitere Eigenschaften unerheblich sind. Somit können nur bei sehr wenigen Standorten der Datenbasis Angaben gemacht werden, welche prägende Eigenschaft die Decke dort hat. Alles andere ist „undifferenziert“, so z.B. auch die Decke bei Lagerung 42 - 44, obwohl sie in der Realität wegen der Kalkunterlagerung kalkhaltig sein kann. Umgekehrt gelten Zellen bzgl. der Decke beispielsweise als kalkhaltig, wenn das EZG fast nur im Kalkbereich liegt. Die lößbürtigen Lockermaterialien werden in dieser Situation nicht berücksichtigt. Somit ist die Gegenüberstellung wenig aussagekräftig. Insofern ist es nicht unbedingt falsch, dass Eigenschaften mit Kodierung 2, 4, 5 und 6 um ein vielfaches mehr modelliert als kartiert werden. Obwohl des öfteren diese Decken mit konkreten Eigenschaften hergeleitet werden, schlagen die Eigenschaften nicht oft negativ auf die Lagerungsklassen, die das eigentliche Ziel sind, durch. Dies hängt mit den vielfältigen Regularien zusammen, die schließlich bei der Zusammenführung aller Informationen angewendet werden (7.1.5, vgl. Abb. 50, Abb. 51 und Karte 3b).

Tab. 41: Kombination der Informationslage DEC-GK und der Deckeneigenschaften der FSK10. Zellen 100m², vgl. Tab. 39.

Decke kartiert	2 sandig	4 kalkig	5 tonig	6 basenreich	undifferenziert
DEC-GK					
2 sandig	1682				275626
4 kalkig		297			27102
5 tonig					5486
6 basenreich				6	4929
undifferenziert	626	10		178	127301

Während Tab. 41 suggeriert, dass das Vorgehen nicht geeignet ist, spricht die Zusammenführung selbst nicht gegen eine Annahme des Vorgehens. Trotzdem scheint es besser zu sein, alle Wertungen der GK25-Information so vorzunehmen, dass weniger die konkreten Eigenschaften resultieren, hingegen aber eher die „undifferenzierten“ Decken. Dazu müßten in 7.1.4.1.7 definierte Schwellen erhöht werden.

7.1.4.1.13 Untypische Konstellationen Decke / Unterlagerndes in der Kartierung

Folgende Übersicht zeigt anhand von drei verwandten Lagerungsklassen die Verwendung von Deckenmächtigkeit, Chemismus und vertikaler Konstellation (vgl. Tab. 3):

Klasse 26	Klasse 64	Klasse 46
<7 dm basenreich	>7 dm basenreich oder kalkhaltig (bis c3)	>3 dm kalkhaltig (ab c4)
basenarm	basenarm	basenarm

Ein Beispiel für die angeführte Konstellation 26 „basenreich“ über „basenarm“ ist folgendes. In der Datenbasis kommt die Lagerungsklasse 26 hauptsächlich im FOA Bramwald in einer Höhe von etwa 340 m ü.NN vor. Basenreiche Gesteine wie Basalte, die im triassischen Sedimentgesteinsbereich vornehmlich für die standörtliche Verbesserung von Decken sorgen könnten, sind dort nicht in der Nähe zu finden. Auch liegen diese 26er-Flächen relativ weit oben, d.h. eine Zulieferung des basenreichen / kalkhaltigen Materials ist kaum möglich. Auffällig ist auch die geringe Nährstoffkennzahl 3 (~mäßig), die dieser Lagerungsklasse 26 im Bramwald zugeordnet wurde.

Das Erläuterungswerk zur Kartierung (EBERL 1984:289f) erklärt den Sachverhalt (Standortstyp 10.3.2.6): „Im Oberboden befinden sich schwach lößinfiltrierte Fließerden aus schwach lehmigen Sanden, mit höheren Steinanteilen und geringer Speicherkraft für Nährstoffe. Im Unterboden sind die Verhältnisse noch ungünstiger, da hier kaum anlehmige, stark steinige Grob- und Mittelsande aus ... sehr quarzreichem Buntsandstein liegen.“ „Es handelt sich im Unterboden zweifellos um die ärmsten Schichten des Buntsandsteins. Entsprechend ist die Basensättigung und die Reaktion der Böden.“

Insofern liegt hier nicht ein Deckenphänomen im weiteren Sinn dieser Arbeit vor, also nicht äolische Akkumulation und Materialumlagerung von hangaufwärts, sondern eine nur leichte, *relative* Verbesserung des Oberbodens gegenüber dem Unterboden. Um dies zu erfassen, wurde Lagerungszahl 26 vergeben. Insofern ist das Verfahren der Wertung geologischer Materialien in Hinblick auf Deckeneigenschaften ein auf typische Überlagerungsfälle abgestelltes Verfahren, das Besonderheiten nicht erkennen bzw. abbilden kann.

7.1.4.1.14 Zusammenfassung Substrateigenschaften

In Abschnitt 7.1.3, in dem nur das Unterlagernde Gegenstand war, wurde gezeigt, wie anhand der Kombination von kartierten geologischen (СТРПЕТА) und forststandörtlichen Einheiten Zuordnungen für das Unterlagernde abgeleitet werden könnten. Ist dies wegen des Datenmangels nicht möglich, muss eine gutachterliche und / oder literaturbasierte Zuordnung, wie hier vorgestellt, ausgeführt werden. Es werden mehrfache, graduelle Zuordnungen getroffen. Fehlende geologische Festgesteinseinheiten werden GIS-technisch hergeleitet. Decken werden über Anteile der Substrateigenschaften im EZG beschrieben. Eine hierarchische Zuordnung ergibt schließlich den prägenden Zustand des Unterlagernden und der Decke, die in Abgleich mit der Mächtigkeit (7.1.4.2) die angestrebten Lagerungsklassen erlaubt herzuleiten. Durch die Mehrdimensionalität, einhergehend mit

- der Differenzierung der Verhältnisse am Ort und im Einzugsgebiet
- der Differenzierung nach Decke und Unterlagerndem
- der Differenzierung nach Bodenart und –chemie
- der mehrfachen Zuordnung von Gesteinen zu bestimmten Substrateigenschaften
- den graduell auszudrückenden Eigenschaften von Gesteinen und
- der Kombination mehrerer Gesteine je geologischer Einheit

gestaltete sich die Inwertsetzung der geologischen Information recht umfassend. Das Vorgehen ist auch wegen der in der Datenbasis selten kartierten Konstellationen von Decken, die vom Unterlagernden abweichen, schwer zu verifizieren. Allerdings kann die Eignung auch „spiegelbildlich“ geprüft werden und zwar dadurch, dass Örtlichkeiten, an denen bestimmte modellierte Konstellationen Decke / Unterlagerndes vorkommen, mit Kartierungen verglichen werden. Dies geschieht abschließend in Abschnitt 7.1.5, in dem alle Kombinationen Kartierung / Modellierung gezeigt sind.

Das Vorgehen könnte um Gesteine einer GK25 blattspezifisch nach und nach erweitert werden. So bleiben die primären Wertungen einzelner Petrographieangaben überschaubar und sind leichter gegeneinander abzuwägen.

7.1.4.2 Mächtigkeit des auflagernden Deckenmaterials

Da in dieser Modellsituation die Eigenschaft des „unterlagernden“ Festgesteins, die Eigenschaften der Decke und die Vorkommen der Substratklassen 3, 7 und Festgestein bekannt sind, fehlt zur Beschreibung der Lagerungsverhältnisse die „auflagernde Decke“.

7.1.4.2.1 Vorarbeiten zum Thema Skalenniveau

Einige Fragen waren vorab zu klären: Sind die Mächtigkeiten als stetige, ordinale oder kategorielle Werte aufzufassen? Dies wurde auch in Abschnitt 6.3 diskutiert. Wenn man Lagerungsklassen verschiedener Mächtigkeiten zu bestimmten ordinalen Mächtigkeitsstufen zusammenfassen würde, könnte man später keine Differenzierung des Ergebnisses vornehmen. Dies könnte allerdings bei einer linearen Regression stetiger Werte erreicht werden. D.h. auch, es müßten bei der Modellbildung für ordinale Skalenniveaus bereits alle später erwünschten ordinalen Zielklassen vorkommen. Trotz dieser Restriktion wurde anfangs zugunsten einer ordinalen Behandlung der Mächtigkeitswerte entschieden, weil dies dem Charakter der Daten („Stufen“, logistische Regression) am nächsten kommt.

Desweiteren ist hier wie auch bei der Diskriminanzanalyse die Klassengröße bzw. Stufengröße bei der Modellaufstellung mitentscheidend. Die bei der logistischen Regression errechneten Parameterschätzungen sind so festgelegt, dass sie die als Modellierungsgrundlage verwendeten Stufen am besten wiedergeben. Um ein möglichst allgemeingültiges Modell aufzustellen sind zwei Stufenverteilungen denkbar:

- 1 Gleiche Stufengröße, d.h. gleiche Anzahl verwendeter Zellen.
- 2 Überproportionale Verwendung der „mittleren“ Mächtigkeitsstufe bei unterproportionaler Verwendung der extremen Stufen („flach“, „tiefgründig“).

Konform dem in 6.1 vorgestellten Ansatz wurde zugunsten von 1 entschieden. Das Problem ist hier im Gegensatz zur Diskriminanzanalyse allerdings, dass die Modellanwendung später nicht über *a-priori*-Einstellungen gesteuert werden kann. Bestimmte Stufen können also nicht besonders gefördert oder zurückgedrängt werden.

Kriterien und Werte zur Beschreibung der Decken (ohne die Substratklassen 1 und 7, Auszug) sind:

Verlehmungsgrad, Bodenarten, vier Stufen:	unverlehmt, schwach verlehmte, verlehmte, schluffig
Tongehalt, 2 Ausprägungen:	Ton ja / nein
Chemismus, drei Stufen:	basenarm, basenreich, kalkhaltig
Mächtigkeit (dm), 13 Stufen:	0, <2, >2, 2-4, <3, >3, 2-7, 3-7, 4-7, <7, >7, 7-15, >15

Tab. 42 zeigt die dreizehn Stufen kartierter Mächtigkeiten jeweils des Substrats, aus dem die Decke, nicht das ganze Profil, besteht (vgl. Tab. 3).

Tab. 42: Kartierungsrelevante Eigenschaften deckenaufbauender Substrate.
Bodenarten, Bodenchemismus und Mächtigkeiten der auflagernden Decke (dm).

1 Grobboden	2 basenarm	3 Feinboden	4 Kalk	5 Ton	6 basenreich	7 Kolluvium	7 _{er}	3 _{er}	6 _{er}
0	0		0	0	0				
		<2					<2		
						>2			
		<3						<3	
			>3						
		2-4							2-4
	2-7	2-7			2-7	2-7			2-7
3-7	3-7	3-7							3-7
	4-7	4-7							
			<7		<7	<7	<7		<7
	>7			>7	>7	>7	>7		
		7-15							
		>15							

Welche Klassen können oder müssen ausgeschlossen oder zusammengefasst werden, um ein weitreichendes Deckenmächtigkeitsmodell aufzustellen? Welche Merkmalswerte müssen anhand der Konstellation der kartierten Flächen hergeleitet werden?

7.1.4.2.2 Ausschluß bestimmter Standorte bzw. Decken

Substratdecke 1 stellt eine Besonderheit dar und wurde in Abschnitt 7.1.1 behandelt. Hier handelt es sich um von der Substratklasse 1 abweichende Decken, weil bei Substrat 1 nur der Skelettanteil im Sinn des Steinanteils, also im Sinn der besonders groben Fraktion, bedeutsam ist, hier aber die Mächtigkeit, der Chemismus und erst nachgeordnet der Skelettanteil. Substrat 1 wird also hier nicht einbezogen.

Eine aus Ton bestehende Decke mit einer Mächtigkeit >7 dm über andersartigem Ausgangsgestein ist standörtlich eine Besonderheit. Sie wird zusammen mit der Kombination „basenreiche Decke von 2-7 dm über Ton“ in der Lagerungsklasse 54 dokumentiert. Diese kommt in der Datenbasis Bergland nur selten vor. Eine Zerlegung dieser ungewöhnlichen Klasse 54 zwecks Verwendung der Mächtigkeitinformation erscheint nicht durchführbar, insofern wird sie aus der Datenbasis eliminiert.

Kalkhaltige (Fließerde-)Decken von >3 dm Mächtigkeit finden sich bei den Lagerungsklassen 45, 46 und ggf. bei 48. Besonders die Klasse 48 sollte nicht ignoriert werden, da die Konstellation einer kalkhaltigen Decke über Ton im Bergland oftmals auftreten müßte (vereinfacht „Muschelkalkverwitterungsdecke über Röt“). Tatsächlich findet sich aber 45 und 48 in der aktuellen Datenbasis nicht, 46 nur einmal und so wurde dieser Überlagerungsfall ausgeschlossen. Würde die Datenbasis durch eine andere Forstamtsauswahl anders zusammengesetzt, sollten derartige Standorte als Modellgrundlage einbezogen werden. Bei Klasse 47 sind sehr unterschiedliche Mächtigkeiten möglich, nur das Vorhandensein des Kalksandsteins ist entscheidend. In der Datenbasis kommt Lagerung 47 ohnehin nicht vor, aber auch andernfalls würde 47 ausgeschlossen.

Es fallen auch solche Standorte aus, bei denen die Mächtigkeitangabe „<7 dm“ lautet und kein Indiz für eine Einschränkung dieser Angabe vorliegt (Bsp. Lagerung 26). Hier kann eine Decke von 1-7 dm vorkommen, die Spanne ist demnach nicht aussagekräftig. Wenig aussagekräftige und zugleich seltene Mächtigkeitstufen sind bei den Lagerungsklassen 45, 46 und 48 gegeben, nämlich >3 dm. Auch diese Standorte wurden nicht berücksichtigt.

Die beiden aus Substrat 3 aufgebauten mächtigen Decken (7-15 dm und >15 dm) stellen ebenfalls eine Besonderheit dar, weil sie den Raum abdecken, der von solch mächtigen feinkörperreichen Decken aufgebaut wird, dass bereits die Substratklasse 3 resultiert. Das Unterlagernde wird hier also von diesen Decken dominiert. Substratklasse 3 als Ganzes wurde separat modelliert (7.1.2) und innerhalb dieses modellierten Raumes wird versucht, nach Mächtigkeit zu differenzieren (später in diesem Abschnitt).

Ähnliches gilt für kolluviale Decken. Diejenigen kolluvialen Decken, die so mächtig sind, dass sie zur Kartierung der Substratklasse 7 führten, tragen ebendieses bodengenetische Merkmal jüngster Materialumlagerung und Sedimentation. Die kolluviale Decke hat einen anderen Charakter als ältere, für das Bergland typische Lockermaterialien, deren Mächtigkeit hier vordringlich hergeleitet werden muß.

7.1.4.2.3 Zusammenlegung unterschiedlicher Decken

Eine übergeordnete Frage ist, ob die Mächtigkeiten der Lößdecken (~feinkörperreiche Decken, Substrat 3) innerhalb der Gruppenklasse der Festgesteinsbereiche (Substrat 2, 4, 5, 6) zusammen mit der Mächtigkeit der anderen Decken (2 und 6) zu modellieren sind. Diese Frage betrifft die Lagerungsfälle 42, 43, 44 und vor anderem Hintergrund zu erörternder Weise auch 22, 23, 53 und 63.

Einiges spricht für eine Zusammenlegung: Eine enge Vergesellschaftung der Lockermaterialien liegt meistens vor, in Fließerden ist oft eine hohe Beimischung von Löß vorhanden und die Datenbasis des aktuellen Modellschrittes wäre größer. Gegen eine Zusammenlegung spricht, dass unterschiedliches Material durch unterschiedliche Prozesse abgelagert und umgelagert sein könnte und somit nicht die gleichen Faktoren (Variablen) zur Deckenherleitung geeignet sind. Trotzdem wurde zugunsten einer Zusammenlegung entschieden, weil starke Vergesellschaftung und Vermischung der Materialien anzunehmen sind bzw. vorliegen.

Schließlich sollten die zu modellierenden Stufen disjunkt sein, d.h. es sollte keine Überlappung der Spannen auftreten. Eine Überlappung stellen z.B. die Spannen 2-7 und 3-7 dm dar (Tab. 3). Daher müßten viele Standorte bzw. Lagerungsklassen aus der Modellierung verbannt werden. Dadurch schrumpft die Datenbasis enorm. Einen Kompromiß zwischen dem Anspruch ausreichender Datenmenge und standörtlicher Vertretbarkeit stellt folgende Zusammenstellung dar, in der nur noch drei Zielstufen vorhanden sind. Sie wurde bei den nachfolgend beschriebenen statistischen Verfahren benutzt.

0, <2, <3, 2-4 dm	→ „flachgründig“	~ Code 1
3-7, 4-7 dm	→ „mittelgründig“	~ Code 2
>7 dm	→ „tiefgründig“	~ Code 3

Gemäß des Konzepts (6.1) wird die Herleitung der Deckenmächtigkeiten substratklassenspezifisch vorgenommen. Es sind die drei Substratklassen(gruppen), 2456 „Festgesteine“, 3 „Löss“ und 7 „Kolluvien/Alluvien“. Sie wurden weitgehend diskriminanzanalytisch hergeleitet (7.1.2).

7.1.4.2.4 Deckenmächtigkeit innerhalb Substrat „Festgesteine“ (2456)

7.1.4.2.4.1 Ansatz 1: Logistische Regression mit stetigen Variablen

Eine Variablenwahl ist bei der Anwendung der Prozedur *logistic* nur über Signifikanzlevels möglich (6.3). Bei großer Probandenzahl (Zellenzahl) sind sehr viele Variablen signifikant bedeutsam, was für den

Fortgang der Modellierung nicht wünschenswert ist. Deshalb wurde die Anzahl je ordinaler Mächtigkeitsstufe auf 150 reduziert. Als Signifikanzlevel (*slentry* und *slstay*) wurde 0.000025 angesetzt. Auswahlresultate waren die Variablen FLI-IL, CTIF und SLODIS17. Die Modellaufstellung erfolgte dann nach Festlegung der geeigneten Variablen allerdings mit stark vergrößertem Datensatz, um größere Stabilität des Modells zu erreichen (3.000 Zellen je Stufe). Reklassifikation ergab (% kartierter Stufen):

kartiert / modelliert	1, flachgründig, <3 dm	2, mittelgründig, 3-7 dm	3, tiefgründig, >7 dm
1	62.1	33.2	4.7
2	36.0	43.2	20.8
3	10.9	24.9	64.2

Die kartierten Stufen 1 und 3 wurden zu etwa 2/3 richtig reklassifiziert, in der mittleren Stufe 2 waren es nur etwas mehr als 40 %. Das Ergebnis ist nicht besonders positiv zu werten, zeigt aber die prinzipielle Möglichkeit einer Herleitung der Stufen. Zugunsten Stufe 1 wird Stufe 3 absolut etwas zu gering ausgewiesen, was aber akzeptabel ist.

Übertragung auf das Validierungsgebiet

Die Parameterschätzungen wurden sodann auf das Validierungsgebiet angewendet. Abb. 45 umfasst dieses Gebiet und auch seine Umgebung. Aus kartographischen Gründen bzw. wegen des Gesamteindruckes sind die Mächtigkeitsstufen auch für den Bereich dargestellt, der nach Modellierung der Substratklassen nicht zu den „Festgesteinen“ (Substrat 2, 4, 5, 6) gehört, sondern zu Substrat 3 oder 7 (vgl. 7.1.2). Die Abbildung zeigt die stufenspezifischen Wahrscheinlichkeiten und das Modellergebnis. Ist die daraus resultierende Verteilung der Stufen im Raum ohne Kenntnis der Validierungsdaten plausibel? Stufe 3, die mächtigeren Decken, finden sich einerseits in den höheren, flacheren Lagen und andererseits in den Senken bzw. Tälern, was akzeptabel erscheint. Zumeist findet kein unmittelbarer Wechsel von Stufe 3 zu 1 statt, d.h. ein Bereich der Stufe 2 ist meistens zwischengeschaltet. Das Auftreten der Lagerungsklasse 24 direkt neben 22 oder auch 21 ist laut HÖVELMANN (2002, mündl.) allerdings in extremen Reliefpositionen durchaus möglich, insofern ist auch der direkte Wechsel der Lockermaterialmächtigkeit von Stufe 1 zu 3 möglich.

Auffällig und negativ zu beurteilen ist der große Anteil der Stufe 1, der flachgründigeren Bereiche. Und zwar ist diese Klasse auch in eingeschachtelten, tiefer liegenden Positionen zu finden (z.B. Punkte P1), wo sie nicht erwartet wird. Mutmaßlich wird diese Verteilung dadurch bedingt, dass die Variable SLODIS17 in diesen Positionen immer geringe Werte annimmt und dies geringe Mächtigkeit fördert. Dies ist im Prinzip auch plausibel; bei insgesamt nur drei Variablen und einem schwer zu modellierenden Sachverhalt kann die Verwendung einer bestimmten Variablen aber bereichsweise auch zu ungünstigen Modellergebnissen führen.

Desweiteren drückt sich die Variable CTIF stark im Gesamtbild aus. Häufig treten linienhafte Strukturen der Stufe 1 und 2 auch in wenig zergliederten Hangbereichen auf. Auch hier ist das Wertespektrum einer Variablen wegen der geringen Wirkung anderer Variablen offensichtlich und nicht förderlich.

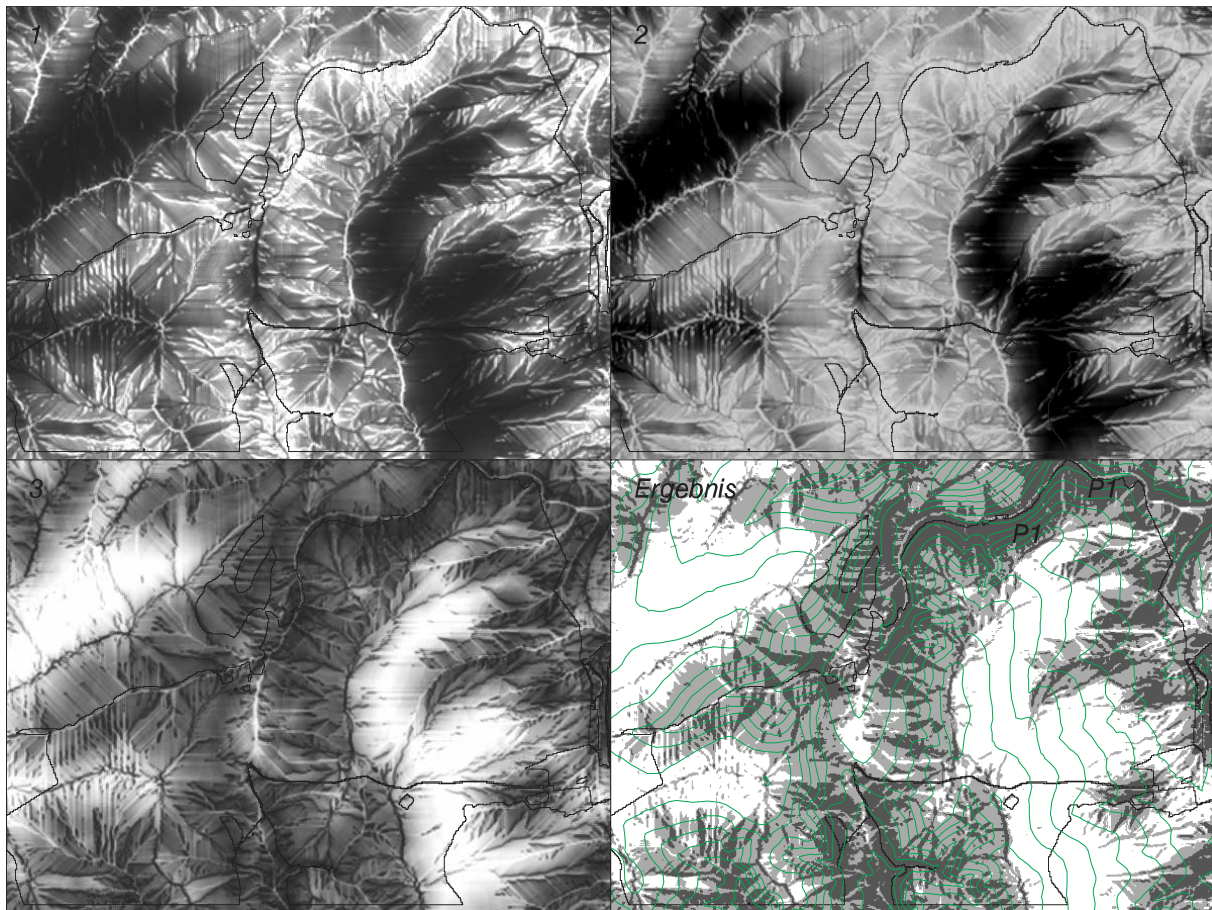


Abb. 45: Wahrscheinlichkeit des Auftretens dreier Mächtigtkeitsstufen und Ergebnis der logistischen Regression. Ansatz 1. Hell ~ hohe Werte. Maßstab 1:75.000. Ausschnitt 3548250 5729500 3554250 5734000, Validierungsgebiet. 20 m Äquidistanz.

Lagerungsklasse 22 war nicht eindeutig einer Mächtigtkeitsstufe zuzuordnen (vgl. Tab. 3) und wurde deshalb aus der aktuellen Datenbasis entfernt. Da im Validierungsgebiet fast ausschließlich die Lagerungsklasse 22 als eine Klasse, die geringe Mächtigkeiten aufweisen könnte, vorkommt, ist eine Modellbewertung in diesen Bereichen schwerlich möglich. Es verbleiben als Vergleichslagerungsklassen nur 23 und 24, also die Vertreter der Stufe 3-7 dm, „mittelgründig“ und >7 dm, „tiefgründig“.

Der erste Eindruck ist, dass tiefgründige Bereiche in Relation zur kartierten Klasse 24 zu weitreichend ausgewiesen werden. Klasse 24 impliziert allerdings unterlagernden Ton. Soweit dieser nicht auftritt, kann 24 nicht kartiert werden. In dieser Situation tritt gewissermaßen eine Lücke in der Definition und Beschreibung der Lagerungsklassen (GÖS im Anhang und Tab. 3) zutage. In welche Klasse gelangen also Standorte, die >7 dm mächtiges, basenarmes Lockermaterial über basenarmen Silikatgestein aufweisen? Sofern das Lockermaterial nicht zur Ausweisung der Substratklasse 3 führt („feinbodenreich“, Lagerung 35) und es nicht besonders sandig ist (Lagerung 21) verbleiben als Lagerungsklassen nur 22 oder 23 (STÜBER 2002, mündl.). Diese Klassen weisen aber laut GÖS nur Mächtigkeiten von 3-7 dm auf. Zumeist wird die Mächtigkeit solcher Decken tatsächlich nur 3-7 dm betragen, d.h. größere Mächtigkeit wird selten auftreten. Falls aber doch größere Mächtigkeit, wie hier auch modelliert, vorliegt, wird zumeist Klasse 23 auszuweisen sein. Das heisst, die weitreichende Modellierung größerer Mächtigkeit widerspricht nicht der kartierten Klasse 23, die laut GÖS solch hohe Werte nicht beinhalten dürfte. WACHTER 2002 plädiert allerdings in solchen Fällen für Lagerung 31, weil dort sandig-verunreinigte Feinböden erlaubt seien und diese Eigenschaft ähnlich dem hier zu klassifizierenden Phänomen ist. Lagerung 31 kann aber konzeptionell hier nicht resultieren, weil sie eine

Klasse innerhalb Substrat 3 ist. Wieder wird deutlich, wie schwierig eine Klassendefinition und –zuordnung ist, wenn Kriterien der Bodenart und Deckenmächtigkeit ineinander greifen.

7.1.4.2.4.2 Ansatz 2: Logistische Regression mit klassierten Variablen

Da nicht unbedingt das gesamte Wertespektrum einer Variablen zur Herleitung der Stufen geeignet sein muß, kann auch eine Aufteilung des Spektrums in Klassen und somit eine Einführung von neuen nominalskalierten Variablen sinnvoll sein. Beispielsweise ist es denkbar, dass nur die sehr hohen Werte der Variablen FLI-IL für die Entscheidung zugunsten Stufe 1, 2 oder 3 eine Bedeutung haben, nicht aber das mittlere und untere Wertenniveau. Anders formuliert ist es denkbar, dass es unerheblich ist, ob die Werte dieser Variablen klein und mittelgroß sind. Das Spektrum der drei zuvor ausgewählten Variablen wurde daher jeweils fünfschrittig geteilt; es resultieren fünfzehn neue Variablen, deren Werte 0 oder 1 annehmen, je nachdem, welcher Wertebereich vorliegt (vgl. BAHRENBERG et al. 1992:139). Die Klassierung des ursprünglich stetigen Wertenniveaus führt allerdings auch zu einem Informationsverlust. Wieder wurden Variablen selektiert und dazu die gleichen Signifikanzlevels und auch die gleichen Zellen wie im Ansatz 1 benutzt. Drei Variablen werden als bedeutsam angesehen: CTIF8, CTIF6 und SLODIS174. Sie beinhalten folgendes Spektrum:

CTIF8	~ CTIF > 8,	also hohe CTIF -Werte, (vgl. 5.2.3.12)
CTIF6	~ 8 > CTIF > 6,	also mittlere bis hohe CTIF -Werte,
SLODIS174	~ SLODIS17 > 400,	also hohe SLODIS17-Werte (vgl. 5.2.3.11)

Sodann wurde die Parameterschätzung mit 3.000 Zellen je Stufe ausgeführt. Reklassifikation zeigte aber, dass der Ansatz nicht geeignet ist, denn die Stufe 2 „mittelgründig“ wurde nicht modelliert und auch die Ergebnisse für die beiden anderen Stufen waren unpassend. Unterschiedliche Stufen können bei diesem Ansatz nur zwischen Zellen mit unterschiedlicher Kombination der Werte 0 und 1 der drei Variablen auftreten. Wie deshalb zu erwarten, stellt sich das Ergebnis wenig differenziert dar. Eine Verbesserung dieses Ansatzes wäre nur möglich, wenn über weniger strenger Schwellen bei der Wahl eine Erhöhung der Anzahl binärer Variablen erreicht würde.

7.1.4.2.4.3 Ansatz 3: Diskriminanzanalyse mit stetigen Variablen

Mächtigkeitsstufen stellen ein ordinales Skalenniveau dar. Dem wurde in den beiden vorherigen Ansätzen Rechnung getragen. Eine Bearbeitung solcher Daten im Sinn eines nominalen (kategorialen) Skalenniveaus ist aber ebenfalls zulässig. Der Vorteil des Verfahrens ist die Steuerbarkeit der Ergebnisse mit *a-priori*-Annahmen (6.2.4 und 6.2.5). Zuerst aber wurden Variablen selektiert:

- Datensatz mit 150 Zellen je Stufe:

Die Schwellenwerte zur Variablenauswahl (pR^2E und pR^2S 0,04) wurden so eingestellt, dass wie zuvor drei Variablen als bedeutsam erkannt wurden. Dies erhöht die Vergleichbarkeit der Ansätze. EXP2, CTIF und WINDEXP wurden selektiert, wobei EXP2 das größte pR^2S aufwies.

- Datensatz mit 3.000 Zellen je Stufe:

Da hier die Variablenwahl über partielle R^2 -Werte erfolgte und nicht über Signifikanzlevels, ist eine Variablenwahl auch mit deutlich größerer Zellenzahl möglich. So wurde der zuvor zur Berechnung der Parameterschätzungen genutzte Datensatz mit je 3.000 Zellen herangezogen und wieder drei Variablen durch Justierung der Schwellenwerte (pR^2E und pR^2S 0,04) gewählt. Wie auch bei der logistischen Regression fällt die Wahl auf:

7.1 Substrate und Lagerungsverhältnisse

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLODIS17		0.24	0.16				
2	2	CTIF		0.08	0.12				
3	3	FLI-IL		0.07	0.07	0.65	0.18	s. u.	Stufe 3 zu gering ausgedehnt

Die Entfernung zu stärker geneigten Bereichen SLODIS17 leistet den größten Beitrag (pR²S 0.16), gefolgt von dem *compound topographic index* und einem Form-Lage-Index. Die beiden ersten Stufen werden hier allerdings etwas zu weitreichend ausgewiesen, Stufe 3 demnach zu gering. Reklassifikation erbringt ähnliche Ergebnisse wie bei der logistischen Regression des Ansatzes 1 (% der kartierten Stufe):

kartiert / modelliert	1, flachgründig, <3 dm	2, mittelgründig, 3-7 dm	3, tiefgründig, >7 dm
1	61.2	34.2	4.6
2	34.6	47.4	18.0
3	13.2	26.8	60.0

- Übertragung auf das Validierungsgebiet

Bei einer dem Modellierungsdatensatz proportionalen *a-priori*-Wahrscheinlichkeit der Zielstufen führte auch die Modellübertragung zu annähernd den gleichen Ergebnissen wie die logistische Regression. Zur Steuerung der Stufenverteilung wurde testweise folgende *a-priori*-Annahme eingesetzt bzw. Stufenverteilung erzielt (% der modellierten Fläche):

	1, flachgründig, <3 dm	2, mittelgründig, 3-7 dm	3, tiefgründig, >7 dm
<i>a-priori</i> -Werte	20	40	40
erzielte Stufenverteilung	12	52	36

Das Zurückdrängen der Stufe 1 („flachgründig“) zugunsten der Stufe 2 („mittelgründig“) gelingt zwar, aber das zuvor beschriebene Problem der unplausiblen Modellierung von Stufe 1 wird nicht behoben.

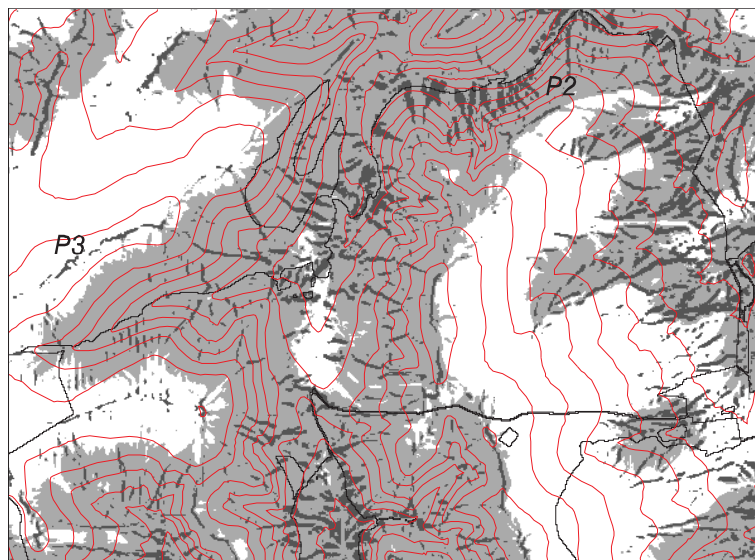


Abb. 46: Drei Mächtigkeitstufen als Ergebnis einer Diskriminanzanalyse. Ansatz 3. Hell ~ Stufe 3, dunkel ~ Stufe 1. Maßstab 1:60.000. Ausschnitt 3548250 5729500 3554250 5734000, Validierungsgebiet. 20 m Äquidistanz.

Vielmehr ist es visuell noch leichter zu erkennen (Punkt P2 in Abb. 46). Dies bedeutet aber auch, dass selbst bei der Nutzung von anwenderdefinierten *a-priori*-Annahmen Stufe 1 an solchen Orten statistisch wahrscheinlicher ist als Stufe 2. Auch die Vergesellschaftung von Stufe 1 und 3 in relativ großer Höhe in

recht weit ausgedehnter flacher Lage (Punkt P3) erscheint unpassend. Das läßt auf eine Datenbasis schließen, die den Sachverhalt nicht gut wiedergibt, also zur Modellierung nicht gut geeignet ist. Insofern treten wieder die Mängel hervor, die zu Anfang dieses Abschnitts bei der Beschreibung der Datenbasis vorgestellt wurden. Die wenig zufriedenstellenden Ergebnisse der Ansätze 1 bis 3 forcieren einen gänzlich anderen Ansatz.

7.1.4.2.4.4 Ansatz 4: Lineare Regression mit stetigen Variablen

Die zuvor beschriebenen Anforderungen, Restriktionen und Probleme führten dazu, nahezu basisdatenunabhängig ein lineares Regressionsmodell zur Herleitung der Mächtigkeiten aufzustellen.

Welche Variablen dazu geeignet sind, konnte annähernd aus den vorgeschalteten Versuchen der Anwendung der logistischen Regression und der Diskriminanzanalyse geschlossen werden. Auch die Vorzeichen der Koeffizienten, also die Tendenz der Beeinflussung der Ergebnisse durch die einzelnen Variablen, konnte anhand der vorherigen Arbeiten erkannt bzw. untermauert werden.

Um Vergleichbarkeit zu den Ansätzen 1 bis 3 erreichen zu können, sollten die selben oder zumindest sehr ähnliche Variablen einbezogen werden. Trotzdem wurde entschieden, die Variable CTIF nicht zu verwenden, weil sie zu relativ linien- und sprunghaften Ergebnissen führt. Stattdessen wurde eine Modifikation der Variablen EXPNAH einbezogen. Die Modifikation ist folgendermaßen begründet: EXPNAH soll dazu beitragen, auf exponierten Zellen (stark negative Werte) die Mächtigkeit zu reduzieren. Gegenteilige Lagen zeigen positive Werte. Sie würden zur Erhöhung der Mächtigkeit führen. Dies ist aber in Kombination mit den anderen drei Variablen, vor allem mit EXP210 und FLI-IL nicht akzeptabel. Die Werte würden in „tiefen“ Lagen zu groß. Daher wurde EXPNAH bei dem Wert 0 gekappt, d.h., die positiven Werte auf 0 zurückgesetzt (EXPNAHMIN).

Desweiteren wurde angenommen, dass eine mehr als 400 m große Entfernung zu Bereichen „großer Neigung“ die Mächtigkeit nicht weiter fördert. Deshalb wurden Werte der Variablen SLODIS17 auf 400 m zurückgesetzt (SLODIS17-4).

Vier Variablen wurden schließlich verwendet: EXP210, EXPNAHMIN, FLI-IL und SLODIS17-4. Für folgende geomorphologische Eigenschaften wird reduzierender Einfluß auf die Mächtigkeit angenommen:

- Größere Exponiertheit der weiteren Umgebung (EXP210),
- größere (negative) Exponiertheit der näheren Umgebung (EXPNAHMIN)
- größerer Form-Lage-Index (FLI-IL),
- geringere Entfernung zu Bereichen hoher Neigung (SLODIS17-4)

Die Konstante und die Koeffizienten wurden so justiert, dass eine Spanne von 0 bis etwa 90cm resultiert: (Modell MN 8:)

$$\text{Mächtigkeit cm} = 100 + (-0.2 * \text{EXP210}) + (2 * \text{EXPNAHMIN}) + (-20 * \text{FLI-IL}) + (0.1 * \text{SLODIS17-4})$$

Extremwerte der Variablen beeinflussen so das Ergebnis in etwa der gleichen Größenordnung:

- größte Mächtigkeit (cm) = $100 + (0) + (0) + (0) + (40)$
- geringste Mächtigkeit (cm) = $100 + (-36) + (-60) + (-40) + (0)$

Am selben Ort können praktisch aber nicht alle vier Extrema zusammentreffen. Trotzdem kann in sehr wenigen, extremen Reliefpositionen ein negativer Wert auftreten; dann wird der Wert auf 0 hochgesetzt. Es fällt positiv auf, dass nunmehr in den konkaven Unterhangbereichen nicht die flachgründigste Stufe 1 resultiert, sondern Stufe 2 (P1, Abb. 47 f). Desweiteren ist Stufe 1 jetzt absolut geringer ausgedehnt und fast nur auf exponierte, konvexe Lokalitäten in der Nähe von oder auf steileren Bereichen beschränkt. Allerdings ist es diskussionswürdig, Stufe 1 auch auf Rücken vorzufinden, die in ihrem zentralen Bereich flach sind und die auch eine relative große Ausdehnung haben (südlich P2). Der Gründe für die geringe Mächtigkeit sind aber dort die hohen Werte des Form-Lage-Indizes und der Exponiertheit und die geringe Distanz zu steileren Hangpartien (Abb. 47 a, b, c, d).

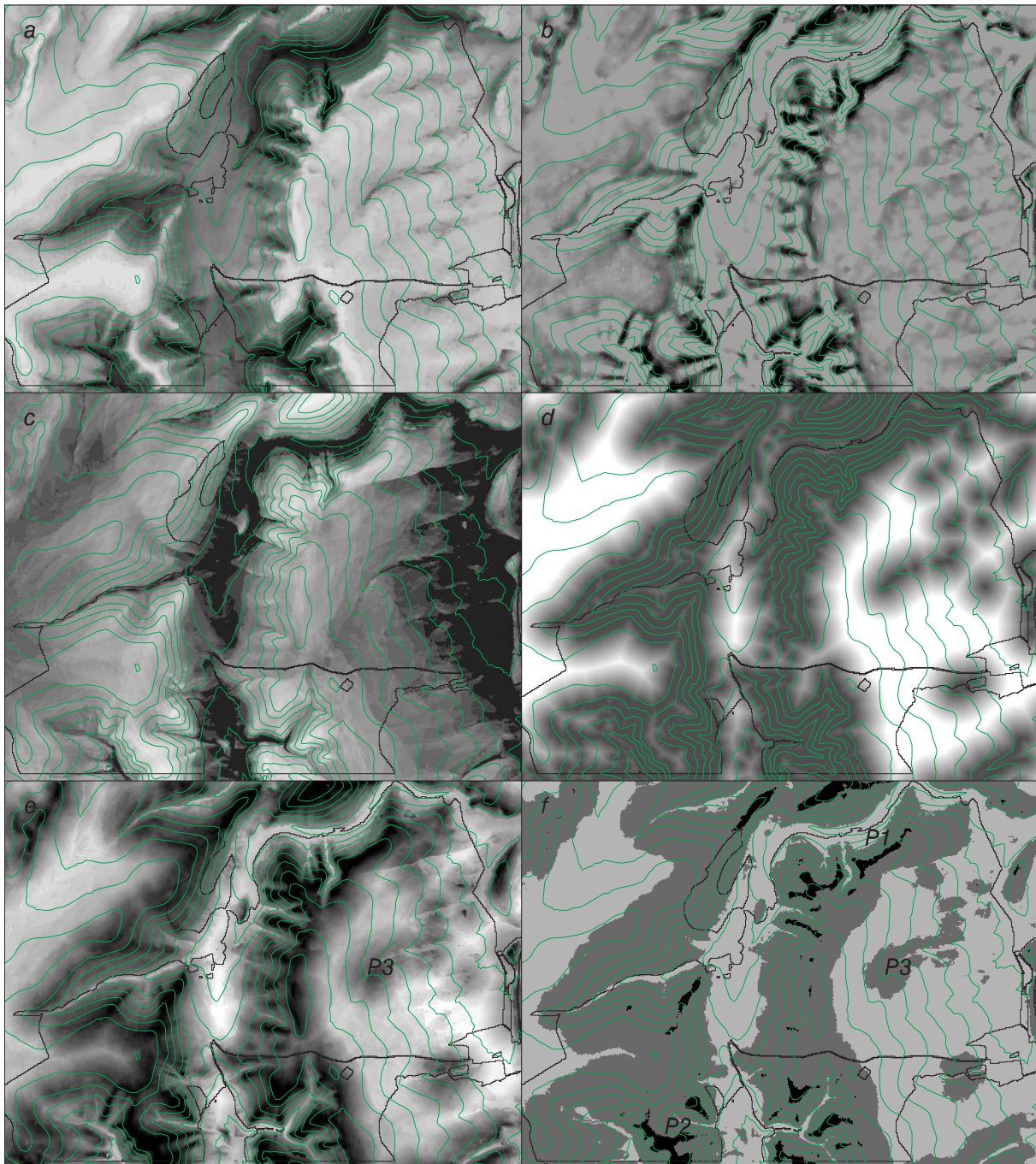


Abb. 47: Modellierte kontinuierliche und in drei Stufen klassierte Deckenmächtigkeit nach Ansatz 4 (e, f) und Variable EXP210 (a), EXPNAHMIN (b), FLI-IL (c) und SLODIS17-4 (d). Helle Bereiche zeigen hohe Werte (vgl. 5.2.3). Maßstab 1:75.000. Ausschnitt 3548250 5729500 3554250 5734000, Validierungsgebiet. 20 m Äquidistanz.

Weniger wahrscheinlich erscheint die geringe Mächtigkeit (etwa 45cm) in relativ flachen Bereichen eines weitausgedehnten, wenig zertalten Hanges (südlich P3 in e und f). Offensichtlich wirkt sich hier die geringe Distanz zu Bereichen stärkerer Neigung aus, denn an den Talflanken in der Nähe von P3 tritt kleinräumig Neigung größer 17 % auf, so dass die Variable SLODIS17-4 dort den Wert 0 aufweist und von dort aus etwa kreisförmig größere Werte, die gegen 400 streben, annimmt. Dies drückt sich in der etwa kreisförmig von P3 zunehmenden Mächtigkeit aus, die bodenkundlich zweifelhaft erscheint. SLODIS17-4 sollte aber weiterhin einbezogen werden, da sie in den Ansätzen 1 bis 3 als bedeutsam erkannt wurde und weil es durchaus plausibel scheint, in Bereichen weit ausgedehnter geringer Neigung höhere Mächtigkeiten vorzufinden. Die Annahme des linearen Einflusses ist möglicherweise unpassend.

Ansatz 4, der vornehmlich gutachterliche Ansatz, stellt eine Lösung dar, die notwendig wurde, weil der Aufbau der Datenbasis problematisch war und deshalb vorangestellte Ansätze zu wenig zufriedenstellenden Ergebnissen führten.

7.1.4.2.5 Deckenmächtigkeit innerhalb Substrat „Lösse“ (3)

Nach Tab. 3 ergeben sich in Substratklasse 3 „Lösse oder ähnliche feinkörnige Sedimente“ nur zwei Mächtigkeitswerte, nämlich 7-15 und >15 dm. Dies ließe ein übersichtliches, plausibles Ergebnis eines logistischen Regressionsmodells erwarten. Bei genauerer Durchsicht ist die Datenbasis aber ungeeignet. Die Gründe dafür sind:

Die Lagerungszahl 35 war etwa bis zum Jahr 1990 nicht definiert. Dies hat Auswirkungen auf die Verwendbarkeit der Datenbasis. Im Bramwald wurden weitreichende Flächen der Lagerung 31 ausgewiesen, die heute zum Großteil in Klasse 35 münden würden (Abb. 3). Für diesen Bereich kann also nicht zwischen „weniger mächtig“ und „mächtiger“ unterschieden werden. Im Bereich des Reviers Gittelde wurde über Kalkgestein im Nordosten Lagerung 33 (oder 34) kartiert, also die flachgründigere Lößdecke. Hingegen wurde auf dem Sandsteinbereich in der Mitte und im Süden des Reviers Lagerung 32 (oder 34), also die mächtigere Decke kartiert. Hier wurden Standorte nicht in Klasse 31 wie im Bramwald, sondern in 32 eingeordnet, weil der Löß typischer, d.h. weniger verunreinigt ist. Ob geringere oder höhere Mächtigkeit vorliegt bleibt ebenso unklar.

In den beiden anderen Teilbereichen der Datenbasis, Sollingvorland und Harzvorland, liegen Lagerungsklassen der Substratklasse 3 auch nicht in solch einem Maße und solch einer Verteilung vor, dass man davon ausgehen könnte, klar zwischen den Mächtigkeitsstufen unterscheiden zu können. Ein weiterer Grund ist die Doppeldeutigkeit des Lagerungswertes 34, der wegen unbestimmter Mächtigkeit der Decken, >15 oder nur >7 dm, nicht verwendet werden konnte.

Oftmals gab es in der Vergangenheit die Kartiergepflogenheit, dass die mächtigere Lagerungsklasse innerhalb Substrat 3 dann auskartiert wurde, wenn das Unterlagernde nicht erbohrt werden konnte. Die Bohrtiefe hängt neben der Pürckhauerlänge auch von dem Zustand des Lösses, wie der Verdichtung, ab, nicht nur von der Mächtigkeit selbst. Zuweilen wurde nur bis 13 dm Tiefe gebohrt und Analogieschlüsse zu Profilaufnahmen der Umgebung gezogen. Auch dies erschwert die Vergleichbarkeit der Basisdaten.

Die zentrale Frage, welche Bereiche „flachgründiger“ und welche „tiefgründiger“ sind, läßt sich somit anhand der Datenbasis nicht klären.

Literatur zur Geomorphologie des Niedersächsischen Berglandes gibt Hinweise zur Lößausprägung:

- Elm (südl. Braunschweig, FOA Elm bzw. Schöningen und Königslutter), GOEDEKE (1966):

„In tieferen Bereichen des unteren Stufenhanges liegt über dem Schutt überall reiner Löß.“ (S. 44). Stellenweise verstärkte Lößmächtigkeit in der zentralen Lage des konkaven Überganges vom oberen zum unteren Stufenhang ist zu erkennen (S. 39). „Nur selten erfolgt ein oberflächlicher Abfluß über die Lößschicht am Grunde der Täler, ...“ bei holozänen und interglazialen Klimaverhältnissen (S. 79). (Forstliche Standortskartierung SCHÜTTE & JENSEN 2002, Frühjahr.)

- Hildesheimer Wald, BARTELS (1967) (vgl. Abb. 48):

„Der Löß bedeckt den Unterhang in einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 0,5-1 m. Er dünnt jedoch auf der Versteilung ... auf 10-30 cm aus.“ Die große Mächtigkeit (1,2 m) wird auch hier wie im Beispiel zuvor im konkaven Bereich zwischen steilerem Oberhang und flacherem Unterhang (Wechsel mu / so) erreicht (S. 81).

„... Mächtigkeit ist ... nicht ausschließlich durch äolische Sedimentation bedingt, sondern wird außerdem durch Abtragung und Umlagerung beeinflusst. So ist beispielweise die relativ große Lößmächtigkeit unterhalb der Röt-Muschelkalkgrenze dadurch zu erklären, daß einerseits in diesem konkaven und daher windgeschützten Hangabschnitt mehr Löß angeweht wurde als in den exponierten Partien, andererseits aber der am Oberhang angewehrte Löß sofort in die Solifluktionvorgänge einbezogen wurde. Das Ausdünnen der Lößdecke auf der „Versteilung“ ... dürfte dadurch bedingt sein, daß der Löß dort durch spülendes Wasser oder durch Solifluktion abgetragen wurde.“ (S. 84).

Zu den Sedimenten eines (konvexen) Stirnhanges: „Die größte Lößmächtigkeit (3 m) tritt auch hier nicht am Hangfuß, sondern in dem ursprünglich (vor der Lößanwehung) konkavsten Bereich ... auf, während die relativ flachen Abschnitte in der Nähe des Rinnsals und am Oberhang nur eine 1-1,5 m mächtige Lößschicht aufweisen.“ (S. 89).

Wenn denn Löß in Tiefenlinien (Muldentälern) in nennenswerter Mächtigkeit vorliegt, wird er mutmaßlich inmitten der Täler die größte Mächtigkeit aufweisen (S. 102f). Allerdings liegen die dargestellten Talbreiten unterhalb der Rasterdatenauflösung von 10 m.

Zu Lößablagerungen in flachen Bereichen in der Nähe von Stufenfirsten: „Der Schutt wird von einer 30-40 cm mächtigen Lößlage überdeckt. Je weiter man sich aus diesem Bereich hangwärts entfernt, desto mehr dünnen Schutt und Löß zunächst aus. Von einem gewissen Punkt an wächst hangabwärts die Mächtigkeit der Lockersedimente jedoch wieder.“ (S. 113).

Lößdeckenverteilung am Rand des Hildesheimer Waldes in Hinblick auf die Modellierung von Substrat / Lagerung und Wasserhaushalt kann anhand Abb. 48 erläutert werden. Die Fotos zeigen eine Baugrube etwa 6 km südlich von Hildesheim. Sie liegt auf dem Rückhang des Ziegenberges östlich von Diekholzen in einer Höhe von 140 m im Oberen Muschelkalk (mo2). Der etwa 900 m südwestlich gelegende Schichtkamm ist im Mittleren Buntsandstein angelegt (GK25 Blatt 3925 Sibbese und BARTELS 1967, Beilage 1 und S. 11-12). Der Höhenlinienverlauf der TK25 zeigt an dieser Stelle einen nahezu gestreckten, horizontal wenig konkaven Hang. Allerdings bildet vor allem der mo1 und auch der mo2 hier einen nach Nordwesten vorspringenden kleinen Rücken, so dass sich der längere Hang in süd-südöstliche Richtung (links) anschließt, nach Südwesten (rechts) aber nur ein Hang von etwa 70 m Länge. Die GK25 zeigt an diesem Ort einen Wechsel zwischen der mächtigeren, noch kartierten quartärer Lößdecke (östlich) und dem unterlagernden Muschelkalk. Mit beiden Gegebenheiten korrespondiert die Mächtigkeit der Lößdeckenauflage:

Rechts ist sie tendenziell gering, minimal 2 dm, links tendenziell groß, maximal 15 dm. Daraus könnten nach dem GÖS und Tab. 3 und Tab. 5 folgende Standortklassen resultieren:

in Abb. 48	links				rechts
BFG	18	19	20	20	26
SUBLAG	33	44	44	43	42
SUB	3	4	4	4	4

Allerdings spielt sich der Wechsel der Mächtigkeit etwa auf einer Distanz von nur etwa 12 m ab, d.h. in der Dimension der Zellengröße und in der Dimension der kleinstmöglichen Modellierbarkeit. Auch die Kartierung würde hier nicht fünf Standorte differenzieren. Auffällig ist die deutliche Trennung der ersten und der zweiten „Schicht“, also der „Decke“ und des „Unterlagernden“. Es gibt keinen farblich erkennbaren Übergang, vielmehr liegt die Decke nur auf und das Material wurde kaum gemischt. In Bild 6 kann man zwischen den Steinen und Blöcken zwar deutlich Lockermaterial erkennen, was aber auf eine Ausbildung bzw. Erhaltung von älterer Fließerde deutet (Hauptlage und Basislage (?) nach AKS 1996:49). Rechts in Bild 4 ist weniger Lockermaterial im Unterlagernden vorhanden, es ist das anstehende Festgestein selbst. Links und rechts liegt aber das entscheidende kalkhaltige Unterlagernde vor, was in Kombination mit der Lößdecke zu Lagerungszahl 33 bis 42 führt.

- Göttinger Wald, in konsequenten Tälern und deren Umgebung, STEIN (1975):
Fast alle Täler sind mit Löß ausgekleidet. „Die Hänge der Täler tragen vielfach unter einer 20-80 cm mächtigen Lößdecke eine ... Fließerde ...“. „Die Mächtigkeit der Lößdecken wie der Fließerden nimmt hangabwärts zu. Auf den Hochflächen lagert ... [oder] eine bis 20 cm mächtige Lößdecke ...“ (S. 71f)
- Thema Talasymmetrie, äolische Akkumulation, KARRASCH (1970):
Mächtigerer [Löß-]Ansammlungen werden in den asymmetrischen Tälern ... ebenso wie anderer Lößverbreitungsgebiete nur an den Flachhängen angetroffen („Flachhänge“ bedeutet hier „flacher“ in Relation zu gegenüberliegenden Hängen) (S. 37).
- Desweiteren liegen Informationen aus SPÖNEMANN (1966, vgl. 2.3.2) und Auskünfte seitens der Standortkartierung Niedersachsens und Nordrhein-Westfalens (STÜBER, WACHTER, ASCHE 2002) zugrunde, beispielsweise dass viele Lößdecken eine Mächtigkeit um 7 dm aufweisen und Werte größer als 20 dm selten sind. WACHTER schätzt den Anteil der mächtigeren Decken auf $\frac{1}{4}$.

Die Informationen mussten digital umgesetzt werden. Nähe zur Tiefenlinie, Mittel- bzw. Unterhanglage, geringe Neigung und Schutz gegenüber Westwind fördern die Mächtigkeit, wurde postuliert. Die Wahl fiel schließlich auf fünf Variablen:

ASPWEST	Abweichung von Westexposition
PROF	Profilwölbung
EUCTIEW	Euklidische, horizontale Distanz zur Tiefenlinie
SLOF	Neigung
EXP210	Exponiertheit (vgl. 5.2.3)

Abb. 48: Leßmächtigkeit über Oberen Muschelkalk in einer Baugrube am Hildesheimer Wald.



Koordinate 35637505774030. Trassierstreifensegmente 2 dm. Vorder- und Hintergrund teilweise Baumaterial. Unterlagerndes wegen Baggerarbeiten nicht vollständig natürlich gelagert. Blickrichtung links ~ SSE, rechts ~ SW, 1-6 Bildnummern s. Text (Foto: U. Krull 9/2002)

Mächtigkeit wird durch große Abweichung von Westexposition, konkave Profilwölbung, geringe Distanz zur Tiefenlinie, geringe Neigung und geringe Exponiertheit gefördert. Die Gleichung wurde so formuliert, dass etwa 1/5 der modellierten Fläche von Substrat 3 innerhalb der Teilräume der Berglandbasis mächtigere Decken (>15 dm) aufweisen und ein Mittelwert von etwa 12 dm resultiert:

Stufen der Deckenmächtigkeit	„flachgründiger“	„tiefgründiger“	
Definition (GÖS 2000 und Tab. 3)	7-15 dm	>15 dm	
Einschränkende Annahme	7-15 dm	15-21 dm	
Annahme Mittelwert	11 dm	18 dm	
Anteile der Stufe innerhalb Substrat 3	80 %	20 %	→ Mittel 12,4 dm

Die Ausdehnung der drei Substratklassen hängt unter anderem von der Einstellung der *a-priori*-Werte im Diskriminanzverfahren ab (6.2). Für die drei Teilräume Gittelde, Bramwald und Sollingvorland, die in dieser Situation als Anwendungsgebiete anzusehen sind, wurden gleiche *a-priori*-Werte eingesetzt, die aber reliefbedingt zu unterschiedlichen Anteilen der Substratklassen führen. Für das Validierungsgebiet gelten Einstellungen, die zu der Kartierung ähnlichen Ausdehnung führen.

Um Parallelität zu dem Vorgehen in 7.1.4.2.4.4, der linearen Regression des Ansatzes 4, herzustellen, wurde so verfahren, als wären Mächtigkeiten von etwa 7 dm bis höchstens 25 dm abzuleiten. Im Kern geht es aber um die Kenntnis der Bereiche, die mehr oder weniger als 15 dm Mächtigkeit aufweisen (Stufen). Der Vorteil bei der Grenzziehung zwischen den Stufen ist, dass mit anschaulichen, bekannten Wertespektren und Einheiten gearbeitet werden kann (Modell MN 9:)

$$\text{Mächtigkeit cm} = 130 + (0.1 * \text{ASPWEST}) + (10 * \text{PROF}) + (-1 * \text{EUCTIEW}) + (-1 * \text{SLOF}) + (-0.2 * \text{EXP210})$$

Es war zu berücksichtigen, dass wegen der vorgeschalteten Herleitung der Substratklasse 3 mit Hilfe von geomorphologischen Variablen hier nicht mehr das ganze Spektrum der ursprünglichen Variablenwerte zugrundeliegt, obwohl andere Variablen benutzt wurden. Beispielsweise kommt der geringste Wert der Variablen PROF (-1, starke Konkavität, 5.2.3.2) im modellierten Substrat-3-Bereich nicht vor.

Die einzelnen Variablen beeinflussen das Ergebnis etwa in gleichem Maße (vgl. Mächtigkeit im Bereich der Festgesteine). Es wurde aber der Effekt der Variablen PROF gegenüber den anderen vier Variablen geringer gehalten, weil ihre gemeinsame Verwendung besonders zur Förderung der mächtigeren Decken in konkaven Bereichen und/oder in der Nähe der Tiefenlinien, also in den linienhaften Senken, führt.

Bis hier konnte mit dem vorliegenden Variablenwertespektrum nicht ohne weiteres erreicht werden, dass die geringen Mächtigkeiten bei etwa 7 dm ansetzen, die höheren Mächtigkeiten aber deutlich über 15 dm rangieren. Somit würden zu geringe Bereiche tiefgründigerer Lößdecken ausgewiesen. Um dies zu ändern, wurde den bis dahin modellierten Werten ein exponentieller Zuschlag zugewiesen, der sich besonders auf die bereits hohen Werte auswirkt: $\text{Mächtigkeit} = \text{Aktuelle M.} + (\text{Aktuelle M.} - 70)^{1,1}$

Er hätte auch durch eine Variablentransformation erreicht werden können.

Eine nach Nordosten geneigte, leicht profil-konkave, schwach geneigte Hangzelle mit mittlerer bis geringer Entfernung bis zur Tiefenlinie und einer geringen Exponiertheit weist einen Zwischenwert von etwa 110 cm und einen Endwert von etwa 170 cm auf und gelangt so in die Mächtigkeitsstufe >15 dm.

Mittelwerte innerhalb Klasse 3 rangieren zwischen 113cm und 132cm (mit Standardabweichungen von etwa 24), liegen also in dem angestrebten Niveau. Mächtigkeiten im Teilgebiet Bramwald liegen etwas hinter denen der anderen Teilräume. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die konkaven, tief liegenden Bereiche, in denen Substrat 3 angenommen wird, recht steil sind und daher geringere Werte hergeleitet werden. So ist auch der Anteil der Stufe >15 dm mit 5% gering; in den anderen Räumen liegt er bei 21%.

Teilgebiet	Mittel cm	Std.-Abw. cm	Anteil „tiefgründig“ %
Gittelde	127	26	21
Bramwald	113	22	5
Sollingvorland	129	26	22
Validierungsgebiet	132	21	18

Vordringlich war die Frage, welche Deckenmächtigkeit innerhalb modellierter Substratklassen resultiert. Aber auch die Verteilung innerhalb der kartierten Klasse 3 dient zur Einschätzung der Plausibilität:

Teilgebiet	Mittel cm	Std.-Abw. cm	Anteil „tiefgründig“ %
Gittelde	115	29	13
Bramwald	109	22	4
Sollingvorland	119	27	11
Validierungsgebiet	126	24	13

Die mittleren Mächtigkeiten liegen etwas niedriger als im Bereich modellierter Substratklasse 3. Korrespondierend dazu ist auch der Anteil der tiefgründigeren Löss (>15 dm) geringer. Dieses Verhältnis ist zu erwarten, da die kartierten Lößbereiche im Vergleich zu den modellierten weniger stark in den tieferen Lagen positioniert sind; durch die Modellierung werden die Lößbereiche gewissermaßen in Lagen gedrängt, in denen im aktuellen Modellschritt größere Mächtigkeiten hergeleitet werden. Die flächenhaften Ergebnisse werden im übernächsten Teilabschnitt weiter diskutiert.

7.1.4.2.6 Deckenmächtigkeit innerhalb Substrat „Kolluvien/Alluvien“ (7)

Ähnlich wie bei Substrat 3 wird versucht zwei Mächtigkeitsstufen auszuweisen: >7 dm und <7 dm. Die erste wird dort angenommen, wo Lagerung 71 kartiert wurde, also ein Kolluvium größerer Mächtigkeit vorliegt, so dass das unterlagernde Festgestein nicht klassifizierend wirkt (vgl. Abb. 10). Beträgt die Mächtigkeit 2-7 dm und liegt kein Stauwassereffekt vor, so resultieren Lagerung 72 und 73, also eine dünnmächtigere Decke über basenarmen oder basenreichem / kalkhaltigem Gestein. Die Schwellenwerte >2 dm und <7 dm bei Lagerung 74 sind abgedeckt, wenn man den Wert 7 dm ableiten kann und davon ausgeht, dass mit der Modellierung der Substratklasse 7 bereits eine Mindestmächtigkeit von 2 dm impliziert ist.

Die Datenbasis der Standortkomponente Substrat / Lagerung besteht aus etwa 3700 Flächen, davon entfallen nur etwa 90 auf Substrat 7 und nur 9 davon weisen die geringere Mächtigkeit auf. Nach Betrachtung der Lage der Flächen im Raum wurde entschieden, dass diese Teildatenbasis nicht zur weiteren Modellaufstellung geeignet ist. Wiederum in Analogie zu den Vorgehen für Mächtigkeiten in Substrat „Festgestein“ und Substrat 7 wurde gutachterlich eine Regressionsgleichung aufgestellt. Sie beruht auf folgender Einschätzung, die vermehrte Akkumulation bzw. Abtragung annimmt:

Mächtige Alluvien liegen i.d.R. in den tiefliegenden, aber relativ offenen und flachen Talbereichen vor. Mächtigere Kolluvien liegen i.d.R. in den relativ offenen und dabei flachen Muldenbereichen, während weniger mächtige Kolluvien i.d.R. in den relativ engeren und dabei steileren Talbereichen vorkommen.

Die Variablenwahl fiel demnach auf EXP8 und SLOF. Im Gegensatz zu den beiden Modellschritten zur Herleitung der Mächtigkeit innerhalb Substrat 7 und „Festgestein“ wurde hier die Variable EXP8 anstatt EXP210 benutzt. Der Grund ist die stärkere Differenzierung in Talgrundnähe je nach Breite des Tales; EXP8 kann in einem weiten Talbereich auch hohe Werte annehmen, während EXP210 und besonders EXP2 in Tälern vorwiegend geringe Exponierheitswerte annimmt (vgl. 5.2.4.1).

Ein grundlegender Unterschied in der Formulierung des Effektes von EXP8 gegenüber EXP210 ist aber das postulierte Anwachsen der Mächtigkeit bei größerer Exponiertheit (Koeffizienten positiv). Hier liegt zugrunde, dass sich die modellierte Substratklasse 7 vorwiegend im Tal-Senken-Muldenbereich findet und dessen Weite, ausgedrückt durch EXP8, positiv korrelierend ausschlagen soll:

(Modell MN 10:) Mächtigkeit $cm = 60 + (1.5 * EXP8) + (-0.5 * SLOF)$

Die Einstellung der Koeffizienten erfolgte anhand der Teilräume der Berglanddatenbasis. Ergebnisse werden im nächsten Abschnitt gezeigt und diskutiert.

Zwischenergebnis Deckenmächtigkeit:

Drei unabhängig voneinander formulierte Modelle beschreiben nunmehr Zellen, die z.T. direkt benachbart sind, aber unterschiedlichen Substratklassen angehören, nämlich Festgestein (2, 4, 5, 6), den Lössen (3) und den Kolluvien (7). In den drei Modellen wurden konkrete Mächtigkeit hergeleitet. Wie korrespondieren die benachbarten Zellenwerte, inwiefern ist ein ähnliches Wertenniveau notwendig ?

Abb. 49 zeigt in Histogrammen die Verteilung der Mächtigkeiten innerhalb der Klassen und in der gesamten Fläche für das Validierungsgebiet. Die Zweigipfeligkeit in der Zusammenschau über alle Substratklassen hinweg deutet auf die separate Formulierung von mehr als einem Modell. Dass die Regressionsgleichungen vor allem anhand von Räumen außerhalb des Validierungsgebietes aufgestellt wurden, kommt zu recht und wie erwartet in dem Wertespektrum des Validierungsgebietes indirekt zum Ausdruck, so im Bereich der Substratklasse 7 (in Abbildung rechts): Ein großer Anteil weist Werte >7 dm auf, was durch die relativ weiten Tallagen, verbunden mit geringer Neigung, bedingt ist. In einem enger und tiefer zertalten Gebiet würde die Werteverteilung eher einer Normalverteilung ähneln.

Ein Wechsel der Mächtigkeiten zwischen Substrat „Festgestein“, 3 und 7 kommt deutlich zum Ausdruck. Die hellen Bereiche zeigen zumeist die Ausdehnung der Substratklasse 3 mit Mächtigkeiten >7 dm. In dem Bereich, der laut Modellierung weder Substrat 3 noch Substrat 7 angehört, werden ebenfalls Werte >7 dm ausgewiesen. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dass bestimmte Lagerungsklassen wie z.B. 24 (Tab. 3) derartige Decken aufweisen, aber trotzdem nicht zu Substratklasse 3 gehören.

Nur eine der Lagerungsklassen (71) innerhalb Substrat 7 weist definitionsgemäß Mächtigkeiten von >7 dm auf (Tab. 3), die anderen zeigen nur Werte von 2-7 dm oder <7 dm. Hingegen impliziert Substrat 3 immer Deckenmächtigkeit von >7 dm. Modellerte Mächtigkeitswerte „überlappen“ sich gewissermaßen bezüglich ihres Spektrums. Dies muss aber nicht zu einem fließenden Übergang von Klasse zu Klasse führen. Auch im Wechsel von Substrat 3 zu 7 tritt das Problem des Sprunges der Deckenmächtigkeit wie bei dem Wechsel Substrat „Festgestein“ zu Substrat 3 auf. Die oben genannte Einschätzung, die Lössen würden zum Großteil Mächtigkeiten um 7 dm aufweisen, wird noch nicht ausreichend umgesetzt, denn der Schwerpunkt der Werte liegt bei etwa 12 dm in der Nähe des Mittelwertes; ebendies drückt sich kartographisch in einem starken Graustufenwechsel aus.

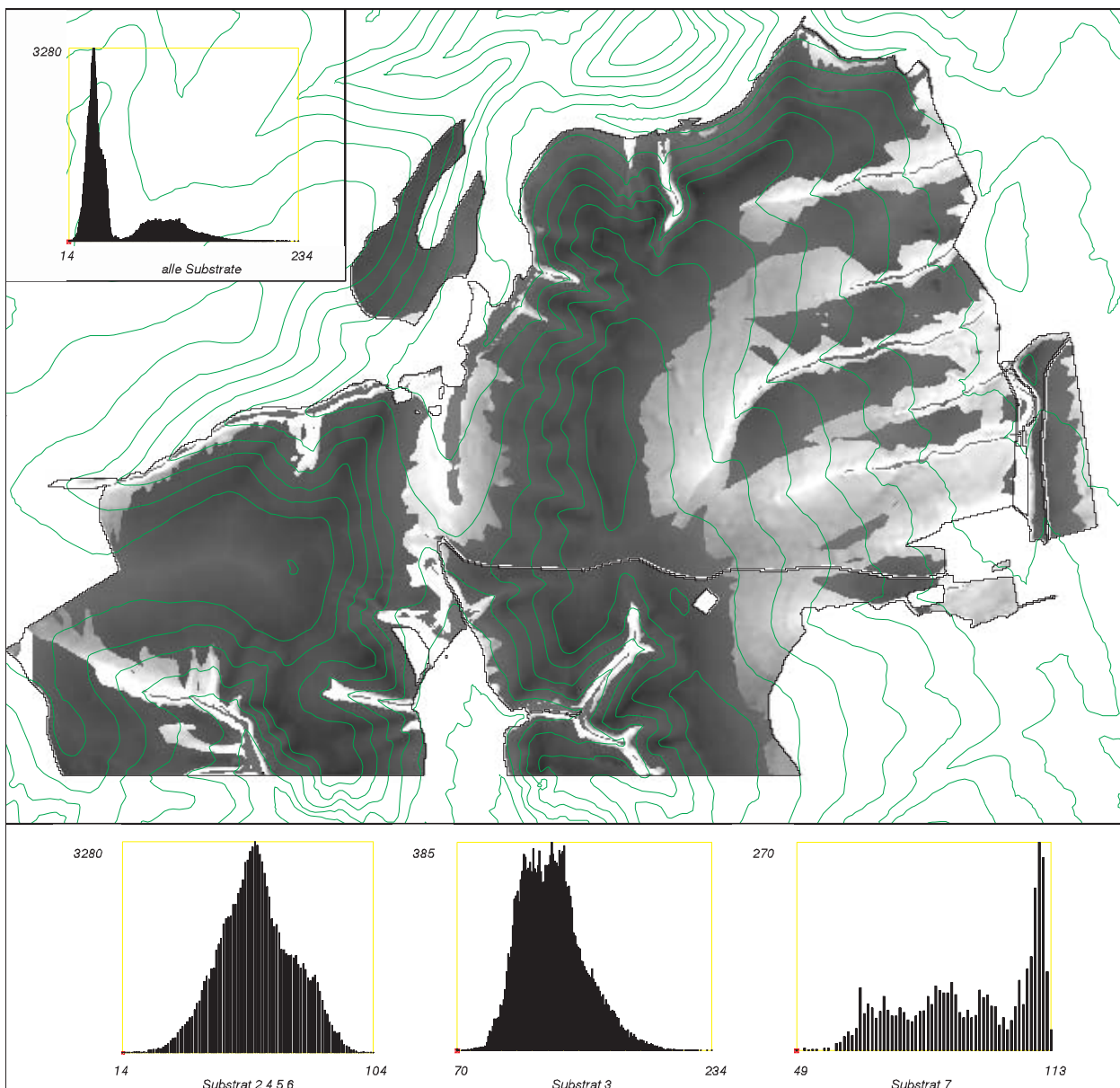


Abb. 49: Mächtigkeit auflagernder Decken basierend auf drei substratbezogenen Modellen im Validierungsgebiet. Hell ~ hohe Werte (cm), vgl. Histogramme. y-Achse ~ Zellenanzahl. Maßstab 1:40.000. Ausschnitt 3548100 5729300 3555300 5734100. 20 m Äquidistanz.

In Anbetracht der auch pragmatischen, zielorientierten Vorgaben zu Anfang dieses Abschnittes ist das Ergebnis akzeptabel, denn Substratklassen sind kategorisch unterschiedlich. Daher ist es nicht zwingend notwendig, dass nahezu gleiche Mächtigkeitswerte direkt aneinander anschließen. Unterschiedliche Mächtigkeitsniveaus zwischen den drei Substratbereichen sind Grund dafür, die Modelle nicht zusammenzulegen. Stetige Mächtigkeitswerte wurden hergeleitet, um eine Grundlage zur Ausweisung von zuerst Mächtigkeitsstufen und schließlich von Lagerungsklassen zu Verfügung zu stellen, denn forstliche Standortklassen bzw. Standortstypen sind eigentliche Zielgröße dieser Arbeit. Lagerungsklassen u.a. basierend auf den hier hergeleiteten Werten zeigt Karte 3b im Anhang.

7.1.4.2.7 Zusammenfassung Deckenmächtigkeit

Bestimmte Mängel sind der Datenbasis, die aus Flächenkartierungen besteht, inhärent und treten bei der Herleitung von Deckenmächtigkeiten in Erscheinung. Insofern konnten mit der Methode der logistischen Regression bzw. der Diskriminanzanalyse nur drei „Stufen“ modelliert werden. Sie verteilen sich nicht plausibel im Raum. Somit wurden mehr oder minder gutachterlich drei lineare Regressionsmodelle

formuliert, die nach ihrem Gesamteindruck beurteilt und vor einem pragmatischen Hintergrund der Lagerungsklassenabgrenzung akzeptabel sind (Karte 3b im Anhang).

Wegen der unsicheren Ausweisung der Mächtigkeiten ist auch die Ausweisung der Lagerungsklassen unsicher. Daraus folgt, dass eine Herleitung von Wasserhaushaltsklassen (GFO bzw. BFG) innerhalb von Substrat / Lagerungsklassen schwerlich möglich sein wird. Daraus folgt weiter, Wasserhaushaltsklassen nur innerhalb von drei Substratklassen zu modellieren (vgl. Abb. 33, Karte 3b und 4b).

Neben der Verwendung der aktuellen Ergebnisse zur Herleitung der Lagerungsklassen erscheint aber bereits die Erstellung einer separaten Karte der Mächtigkeiten als Hilfsmittel bei der Kartierung sinnvoll.

Ein Regressionsmodell auf Basis von gemessenen Bodenprofilaten könnte ein realitätsnäheres und somit sichereres Ausweisen der Deckenmächtigkeiten ermöglichen. Etwa 20 Profile je eindeutig interpretierbarer Lagerungsklasse, z.B. der Klasse 24 mit Mächtigkeiten von mehr als 7 dm, erscheinen dafür ausreichend.

Zur Durchführung der logistischen Regression, deren Datenbasis auf Mächtigkeitsstufen beruht, bleibt als Zwischenergebnis: Eine zusätzliche Unterscheidung in schluffige Decken („3er-Decke“) und allenfalls verlehnte oder gar schwach verlehnte Decken („2er-Decke“) innerhalb einzelner oder zusammengefasster Lagerungsklassen sollte ebenfalls durchgeführt werden: Eine Differenzierung der nicht eindeutig definierten flächenhaften Lagerungsklassen 22, 23, 53 und 63 über Profildaten (Bodenarten) wäre angebracht. Dabei sind die Klassen 23, 53 und 63 weniger problematisch, weil dort klassenintern zumindest gleiche Mächtigkeiten zugrundeliegen. Eine Problemklasse ist 22, da dabei viele Standorte unterschiedlicher Bodenart und Mächtigkeit subsummiert werden. In dieser Arbeit ist die relativ große Ausdehnung der Klasse 22 ein ungünstiger Umstand, da durch ihre Existenz nennenswerte Datenmengen ausfallen. Dies drückt sich in der abschließenden Zusammenführung der Teilmodelle zu Lagerungsklassen aus (7.1.5). Umgekehrt betrachtet bedeutet die große Ausdehnung aber, dass viele Bodenprofile der Klasse 22 existieren müssten und so eine ausreichende profilbasierte Datenbasis zusammengestellt werden könnte.

7.1.5 Zusammenführung der Einzelergebnisse der Substrat / Lagerungsmodelle

In dieser Modellsituation bestehen Informationen zu folgenden Standortmerkmalen bzw. –komponenten:

- a Vorkommen Substrat 1
- b Vorkommen Substrat 3 und 7
- c Unterlagerndes Festgestein
- d Zustand Decke
 - d 1 Bodenart, ~ erhöhter Tongehalt, ~ erhöhter Sandgehalt
 - d 2 Basengehalt bzw. -reichtum, Kalkgehalt
 - d 3 Mächtigkeit

In Orientierung an Tab. 3 (Kriterien für Lagerungsklassen) und Tab. 18 (Kriterien für Substratklassen) müssen nun Regeln angewendet werden, die über Schwellenwerte zur Gliederung der teils metrischen Werte beitragen und zur Zusammenführung dieser Werte mit den primär ordinalen oder kategoriellen Werten dienen. Das gesamte Regelwerk wird mit Modellnummer MN 11 benannt. Es hat thesenhaften Charakter, da die Bedeutung einiger Eingangsgrößen lediglich thesenhaft postuliert wurde.

Drei Regularien werden beispielhaft für die Gesamtheit aller definierten Lagerungsklassen genannt:

- Lößdeckenmächtigkeit >15 dm und Deckeneigenschaft = „sandiger“ und Substratklassenmodell = „3, Löss“ → 31
- Deckenmächtigkeit >4 dm und Eigenschaft Unterlagerndes = „kalkhaltig“ und Substratklassenmodell = „Festgesteinsbereich“ → 44
- Deckenmächtigkeit $2 < x < 7$ dm und Eigenschaft Unterlagerndes = „basenarm“ und Substratklassenmodell = „7, Kolluvium“ → 72

Findet sich z.B. in Substratklasse 3 bedingt durch die Festgesteinsverhältnisse im EZG mutmaßlich überdurchschnittlich viel Sand bei gleichzeitiger größerer Mächtigkeit, dann sollte die Substrat / Lagerungsklasse 31, verunreinigte Feinlehme, resultieren. Findet sich relativ viel Ton, dann ist 34 angebracht, da ein Staufaktor angenommen werden kann. Für alle Lagerungsklassen von 21 bis 74, also ohne Substratklasse 1 (vgl. 7.1.1), wurden die vermutlich ausschlaggebenden Kriterien bzw. Werte geprüft. Die Formulierungen wurden dabei aus Gründen der Rationalisierung so justiert, dass eine Reihenfolge von Klasse 21 zu 74 eingehalten werden muß. Beispielsweise ist dann der untere Schwellenwert „>2 dm“ für Lagerung 43 nicht zu nennen, wenn bereits vorher der obere Schwellenwert „<2 dm“ bei der Eingrenzung von Lagerung 42 benutzt wurde. In diesem Zusammenhang war darauf zu achten, dass aktuell modellierte Klassen nur auf bis dahin unklassifizierte Zellen gelegt wurden.

Beispielraum Gittelde:

Abb. 50 zeigt die Kombination kartierter und modellierter Lagerungsklassen auf etwa 240 ha des Reviers Gittelde. Etwa 560 ha dieses Reviers konnten nicht modelliert werden, weil keine GK25-Information vorlag. Einige wenige, nicht modellierte Zellen, in denen Basishöheninformation fehlte, wurden mit demjenigen modellierten Lagerungswert gefüllt, der räumlich am nächsten lag. Kombinationen mit weniger als 10 Zellen (0,1 ha) Ausdehnung wurden zugunsten der Übersicht in Tab. 43 nicht eingetragen.

Tab. 43: Teilbereich Rev. Gittelde: Kombination kartierter und modellierter Lagerungsklassen. (FSK, MOD). Einheit: 10x10 m-Zelle. Verschlüsselung: Abschnitt 2.3.2.1 und Anhang.

FSK / MOD	23	31	32	33	34	35	41	42	43	44	48	51	54	71	Summe
23			60	15										91	166
24	41					27				35					103
32	34	96	159	41	41					226				326	923
33			221	561				73	1140	15	75	24	197		2306
34	28	56				19				93					196
41							16	22	20						58
42			28	83	42		62	165	1085	1092	95	141	137	58	2988
43			138	499			10	57	1695	3767	177	140	124	157	6764
44			192	330	45			60	1099	5162	223	72	304	26	7513
53			10	17	16					127	31	15	57	75	348
54				15	15			25	468	229		379	661	28	1820
71			207	131					21	167	59				585
Summe	103	152	1015	1692	118	87	88	304	4018	12277	829	822	1307	958	23770

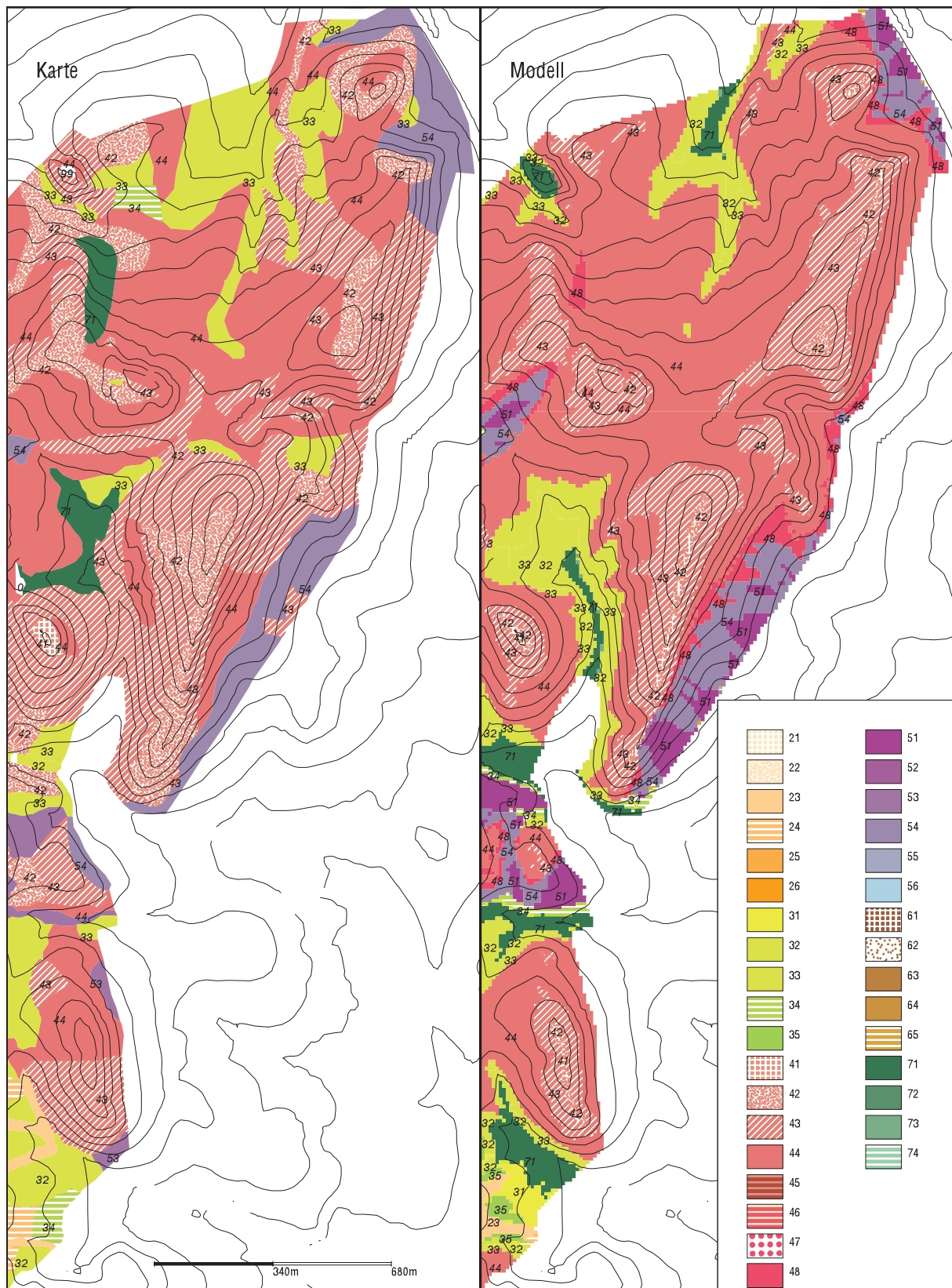


Abb. 50: Teilbereich Rev. Gittelde. Modellerte Lagerungsklassen als Ergebnis der Zusammenführung der Deckeneigenschaften, des Unterlagernden und der Substratklassen. Maßstab 1:17.000. 20 m Äquidistanz. Ausschnitt 3580400 5741800 3381840 5745500. Vgl. Tab. 3.

Auf 1/3 der Fläche wird die gleiche Lagerungsklasse modelliert wie kartiert. Einige modellerte Klassen sind kartierten verwandt, obwohl sie unterschiedlichen Substratklassen angehören:
 33-44 bzw. 44-33: Es handelt sich um (Löß-)Decken unterschiedlicher Mächtigkeit über Kalk; zusammen 15 ha finden sich in jeweils der anderen, verwandten Klasse.

Auch innerhalb der flächengrößten Substratklasse 4 „Kalke“ gibt es spiegelbildliche Kombinationen verwandter modellierter und kartierter Klassen: 41-42, 42-41, 42-43, 43-42, 43-44, 44-43. Etwa 61 ha finden sich in jeweils der verwandten Klasse.

Klasse 48, Kalk über Ton, wird auf 8 ha modelliert, aber nicht kartiert. Die modellierten Flächen treffen aber weitgehend auf die Substratklasse „Kalke“, sie stehen der Kartierung also ökologisch nahe.

Ähnliches gilt für die Kombinationen 32-33 bzw. 33-32, die in diesem Gebiet durch die Lößdeckenmächtigkeit (<15 dm<) differenziert werden. Die Klassen wurden auf 22 ha kartiert und auf 27 ha modelliert, was positiv zu beurteilen ist; allerdings zeigen davon nur 10 ha Kongruenz.

Neben der Kongruenz der Lagerungsklassen ist auch deren absolute Ausdehnung zu betrachten: Vergleichbare Ausdehnungen Karte-Modell liegen bei den Klassen 23, 32, 33, 34, 41, 43, 54 und 71 vor. Dies sind 8 von 14 modellierten Lagerungsklassen; der Sachverhalt drückt sich in dem Gesamtbild der Klassenverteilung in Abb. 50 aus.

Negativ ist, dass 2 der kartierten 12 Lagerungsklassen nicht modelliert wurden, nämlich 24 und 53; zusammen bedecken sie aber nur 5 der 320 ha. Aus der anderen Perspektive betrachtet ist zu vermerken, dass 4 von 14 modellierten Klassen nicht kartiert wurden: 31, 35, 48 und 51. Sie zusammen belegen aber nur 19 ha. Die modellierte Klasse 35 war z.Z. der Kartierung noch nicht definiert, so dass der Vergleich nicht „spiegelbildlich“ angestellt werden kann.

Damit ist auch die strittigste Klasse 51 (8 ha) genannt, die schweren Tonböden. In Relation zu den kartierten und modellierten Tonbereichen der Klasse 53 liegen sie zwar an plausiblen Orten, aber ihre Existenz in der Natur ist fraglich. Der Modellansatz brachte sie dort hervor, weil sowohl das Unterlagernde als auch die Decke „tonig“ sein dürften und dies selbst bei geringer Deckenmächtigkeit zu Klasse 51 überleitet.

Auffällig und negativ zu werten ist auch die fehlende Kongruenz der Klasse 71; andererseits erscheinen die Kolluvien im Modellfall plausibel verteilt, wohingegen das nördliche Vorkommen der beiden Kolluvien der Kartierung wegen der Steilheit und Abweichung von der Tiefenlinie nicht unbedingt korrekt plaziert scheint. Mehr als die Hälfte der kartierten Kolluvien (71) entfällt auf modellierte Lößstandorte (32, 33); dies gilt auch umgekehrt für die modellierten Kolluvien. Solche Kombinationen sind wegen der oftmals engen Vergesellschaftung beider Substrate akzeptabel (vgl. Karte 3a und 3b).

Beispielraum Sollingvorland:

Ein Ausschnitt aus dem südöstlichen Sollingvorland (~Bergland) zeigt vornehmlich Substratklasse 2, aber auch einen lebhaften Wechsel zwischen Unterlagerndem aus Ton oder Kalk und den modellierten Substratklassen 3 und 7 (vgl. 7.1.2). Die westliche Hälfte verdeutlicht die Modelleignung in Teilräumen in Bezug auf Lagerung 22 und 23, mit Abstrichen auch in Bezug auf 31, 35 und 71. In der östlichen Hälfte gibt es -vordergründig betrachtet- deutliche Unterschiede:

Die modellierte Klasse 44, (Löß-)Decke über Kalk, trifft in der Kartierung auf 33 und 54. 33 ist 44 verwandt, da es sich bei 33 um mächtigere Löss über Kalk handelt. Diese Kombination von Karte und Modell trat auch in Raum Gittelde häufig auf. Die kartierte Klasse 54 ist durchaus anzunehmen, da darin Standorte „Ton über Kalk“ subsummiert werden können und der Verwitterungsrückstand über Kalk, vor allem wenn eine Mischung mit geringmächtigem Löß vorliegt, tonig sein kann. Das Modell stellte hingegen im Zuge der hierarchischen Wertung (7.1.4.1.8) unterlagernden Kalk und eine Decke, die so mächtig ist, dass 44 resultiert, fest. So sind gewissermaßen die Schwerpunkte unterschiedlich gesetzt, die Lagerungsklassen aber trotzdem verwandt.

Eine Überbewertung des Tons liegt aber wohl in dem modellierten schmalen Band der Klassen 51 und 53 vor, was in der Kartierung keine Entsprechung hat. Insofern kann eine solche Ausweisung von Substrat 5 nur ein Indiz sein, dass auf bestimmten Ausgangsgesteinen (hier $\wedge t, \wedge t b l$) mit erhöhtem Tongehalt zu rechnen ist.

Der große Anteil von 35 im Nordosten der Kartierung wird im wesentlichen als 23 modelliert, d.h. einer ähnlichen Klasse, denn in beiden Fällen ist das unterlagernde Material „basenarm“, die Decke aber bei 35 mächtiger und / oder feinsbodenreicher als bei 23.

Schließlich ist der ähnliche Verlauf zwischen kartierter Klasse 34 und modellierter Klasse 71 auffällig: Was die Lockermaterialmächtigkeit beider Standorte angeht, gibt es Parallelen (Tab. 3). Der Stauwassercharakter von 34 ist aber nicht in 71 impliziert, 74 wäre passender.

In der Gesamtbetrachtung scheint die Lagerungsklassenverteilung realitätsnah zu sein; die Kongruenzwerte sind allerdings nicht günstig.

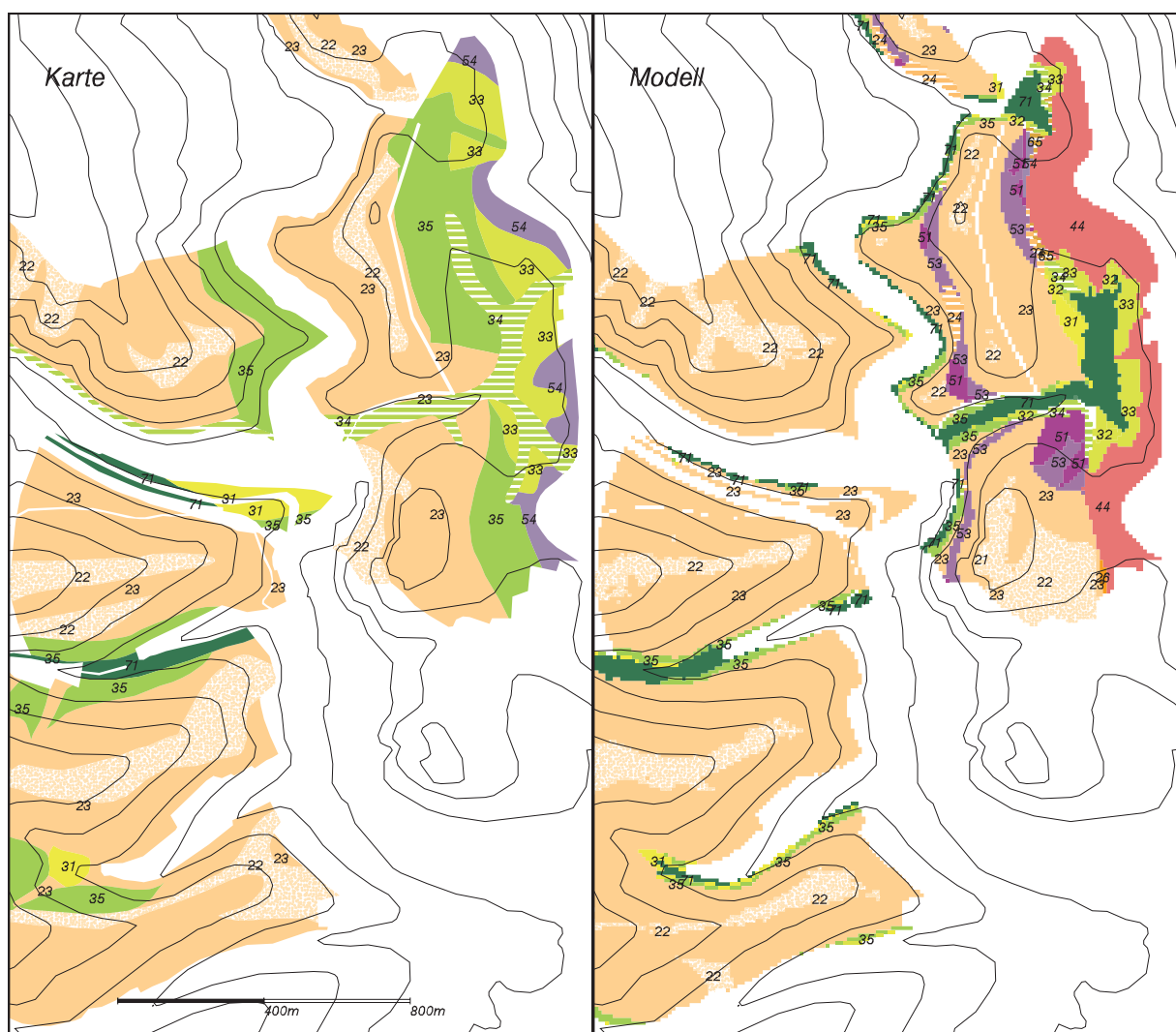


Abb. 51: Teilbereich Rev. Leisenrode. Modellerte Lagerungsklassen als Ergebnis der Zusammenführung der Deckeneigenschaften, des Unterlagernden und der Substratklassen. Maßstab 1:20.000. 20 m Äquidistanz. Ausschnitt 3555870 5724240 3557470 5727350. Legende siehe vorherige Abbildung und Tab. 3.

Beispielraum Validierungsgebiet:

Das Validierungsgebiet spielt in dieser Situation keine völlig andere Rolle als die beiden vorherigen Beispielräume, weil die Lagerungsklassenherleitung keine statistische Herleitung war, die an einem separaten Gebiet validiert werden könnte. Davon unbenommen kann es herangezogen werden. Zumindest wegen der Vorschaltung der Substratmodellierung hat dieses Gebiet auch hier die Funktion eines Validierungsgebietes.

Karte 3a und 3b zeigen die Lagerungsklassen bzw. die übergeordneten Substrate. Anfangs in 1.2.2 wurde konstatiert, im Validierungsgebiet dürften nur die Substrate 2, 3 und 7 modelliert werden. Dies ist weitgehend der Fall. An wenigen Orten im Osten tritt Klasse 53 auf; hier wirkt sich der unterlagernde Ton (UNT-GK), abgeleitet aus der GK25 aus. Sie zeigt dort den petrographischen Wert \hat{t}, \hat{u} an. 53 ist vergesellschaftet mit SUBLAG 24, basenarmes Gestein über Ton. 24 und 53 unterscheiden sich in der Mächtigkeit der Decke, bei 24 ist sie >7 dm.

Die Kartierung zeigt neun Lagerungsklassen (Tab. 1). Das Modell bringt hingegen zwölf Klassen hervor; die sehr kleine, kartierte Klasse 33 fehlt außerdem im Modell. Somit sind vier Klassen, die nicht kartiert wurden, im Modell vertreten: 32, 51, 53 und 72. Bis auf 51 sind sie aber in solch einem Gebiet zu erwarten.

Die Kongruenz bzw. Trefferquote über alle Klassen hinweg beträgt 47 %. Sie wird fast ausschließlich aus den großflächigen Klassen 23 und 35 gespeist. Auch bei zufälliger Verteilung aller Klassen würde allein Lagerung 23 zu dreiunddreißig Prozentpunkten der Trefferquote bei diesen absoluten Ausdehnungen in Karte und Modell beitragen. Insofern ist die Kongruenz nicht hoch. Positiv ist die Kongruenz der Klasse 71, den mächtigen Kolluvien, die trotz der linienförmigen Ausprägung und geringen absoluten Ausdehnung fast 40 % beträgt. Außerdem fällt die Kombination 22 - 23 und 23 - 22 positiv auf, denn hier handelt es sich um verwandte Klassen. Gleiches gilt für die Kombination 23 - 35 und 35 - 23.

Tab. 44: Validierungsgebiet: Kombination kartierter und modellierter Lagerungsklassen.
(FSK, MOD). Einheit: 10x10 m-Zelle. Verschlüsselung: 2.3.2.1 und Anhang. Vgl. Karte 3a und 3b im Anhang.

FSK / MOD	21	22	23	24	31	32	34	35	51	53	71	72	Summe
21			111			10		27					148
22	12	2608	10485		422	399		687			257	2	14872
23	19	2562	61811	371	648	1060	28	16860	144	107	433	7	84050
24		73	7321		389			857			207		8847
31			2		360			12			151		525
33						44		21			11		76
34			5695	18	681	1598	43	11007	23		648	14	19727
35		40	15244	304	625	1520	496	8307	200	3	585	1	27325
71			278	1	427	246	4	808			1313		3077
Summe	31	5283	100959	694	3561	4878	571	38589	367	110	3605	24	158672

Wenig akzeptabel ist die Kombination der modellierten Klassen 31 und 32 (mächtige Löss) mit 22 (schwach verlehnte und / oder geringmächtige Decken) der Kartierung; allerdings sind die Kombinationen kleinflächig. Auch wird Lagerung 32, die typischen Löss, auf knapp 50 ha modelliert, aber nicht kartiert. Die modellierte Ausdehnung scheint zu hoch.

Negativ ist auch, dass 24 und 34 mit zusammen 285 ha ausgedehnt kartiert wurden, aber im Modell fast nicht auftauchen. Mit Lagerung 34 werden Stauereffekte assoziiert, sie sind aber nicht zwingend. Die GÖS-interne Kodierung von Stauereffekten sowohl in der Lagerungszahl als auch in der Wasserhaushaltszahl (BFG) wird in 7.3.9 wieder aufgegriffen.

Zum Problem des „Verlehungsgrades“, insbesondere bei Lagerung 22 und 23:

Wegen der Vielfältigkeit der Kriterien, die die Lagerungsklassen 22 und 23 bedingen, ergibt sich bei deren Trennung ein Problem (vgl. Tab. 3): Es gibt noch keine Teilmodelle, die folgendes beschreiben:

- den „Verlehungsgrad“ von „unverlehmt“ zu „schwach verlehmt“ und „verlehmt“ und
- die Existenz einer weniger als 7 dm mächtigen Lößdecke abseits von Substratklasse 3 „Lösse“.

Eine mutmaßlich erhöhte Sandhaltigkeit und Tonhaltigkeit wurde in 7.1.4.1 hergeleitet. Beide genügen aber offensichtlich nicht zur Einschätzung des Verlehungsgrades. „Lehm“ liegt nach KA4 (S. 134f) dann vor, wenn die Korngrößenfraktionen Sand, Schluff und Ton in etwa ausgeglichen sind, d.h., wenn keine Komponente stark überwiegt.

Eine Gleichverteilung von Sand, Ton und Schluff beispielsweise resultiert in schwach tonigem Lehm (Lt2). Ein Lehm beinhaltet zwar meistens auch recht viel Schluff, aber im Fall von stark sandigem Lehm (Ls4) oder sandig-tonigem Lehm (Lts) kann dessen Gehalt auf nur 15 Masse-% zurückgehen. Heisst in der Standortkartierungspraxis „unverlehmt“ aber, dass nur relativ viel Sand vorkommt? Oder kann auch relativ viel Ton den Feinboden ausmachen?

HÖVELMANN (2002, mündl.) umschreibt „unverlehmt“ mit einer Zusammensetzung aus „fast nur Sand“ und hängt den Verlehungsgrad andererseits auch stark an dem Tongehalt auf: Der Tongehalt führt zu einer gewissen Bindigkeit bei der Fingerprobe, die auf Verlehmung schließen läßt. Hohe Tongehalte, wie bei schwach sandigem Ton (Ts2), führen auch zu Verlehmung, obwohl dann der Schluffgehalt geringer ist. Somit kommt es auf die Mischung der drei Fraktionen, aber insbesondere auf den Tongehalt an. Wenn diese Kriterien bestimmend sind, ist es weniger wichtig, wieviel Löß auf einen Standort aufgeweht, aufgeschwemmt oder solifluidal herangeführt wurde.

Wenn die Decke weniger als 3 dm mächtig ist, resultiert ohnehin Lagerung 22. Wenn die Decke „verlehmt“ oder „schluffig“ ist, resultiert ohnehin 23. Die Kernfrage ist also, wann eine 3-7 dm mächtige Decke, die nicht kalkhaltig, basenreich oder tonig ist, als „schwach verlehmt“ (22) gilt. Da oftmals Mächtigkeiten von 3 dm bis 7 dm vorkommen, ist die Frage auch flächenbezogen bedeutsam. Weil ein Modell, das die Mischung von äolischen Feinbodenkomponenten und in-situ-Verwitterungsmaterial ausdrückt, fehlt, wurde unter Nutzung bereits modellierter Klassen verfahren: Zellen können nur dann Lagerung 22 angehören, wenn zusätzlich zu bestimmter Deckenmächtigkeit und Deckenklassenzugehörigkeit die hergeleiteten Anteile im Einzugsgebiet bzgl. Tongehalt und Sandgehalt besonders klein bzw. besonders groß sind. Außerdem ergibt sich nur dann 22, wenn die Entfernung zu der modellierten Substratklasse 3 größer als 200 m ist. Diese Regularien bewirken ein Zurückdrängen von 22 zugunsten von 23. Kartographisch kann sich der Einbau der Entfernungsschwelle aber in Polygonformen der Klassen 22 und 23 ausdrücken, die nicht typisch für Forststandorte sind.

Zwischenergebnis zur Modellierung der Substrat / Lagerungsklassen:

Zuerst wurden diskriminanzanalytisch drei Substratklassen „Lösse“, „Kolluvien/Alluvien“ und „Festgesteinsbereiche“ hergeleitet. Innerhalb dieser wurden drei separate Deckenmächtigkeitsmodelle gutachterlich regressionsanalytisch formuliert. Desweiteren wurde eine Wertung und Gewichtung geologischer Einheiten mit Zielrichtung „Unterlagerndes“ und unter Einbeziehung von Gesteinseigenschaften in Einzugsgebieten auch mit Zielrichtung „Decke“ nach prägenden Merkmalen des

Chemismus und der Bodenarten durchgeführt. Schließlich bezieht ein klassenspezifisches Regularium alle jeweils abgrenzungsrelevanten Merkmale ein und ermöglicht die Ausweisung fast aller Lagerungsklassen. Das Spektrum, die Ausdehnung und die Lage modellierter Klassen erscheinen sinnvoll, die Kongruenz zu kartierten Klassen ist allerdings teilweise gering.

Status 4	Standortkomponente	Klassen
	Substrat	1 – 7
	Substrat / Lagerung	11 – 74

7.2 Wasserhaushalt: Geländeform (GFO) innerhalb der Substratbereiche

Die Arbeit basiert auf einer „Zerlegung“ des forstlichen Standorts in seine entscheidenden Merkmale, die jeweils mit spezifischen Modellen hergeleitet werden. Damit geht auch der geschachtelte, stufen- und schrittweise Ablauf einher. Einer der größeren Schritte ist nun, in zuvor modellierten Substraten Wasserhaushaltsklassen auszuweisen. Dazu wird auf stärker aggregierte Einheiten als die zuvor modellierten Substrat / Lagerungsklassen zurückgegriffen: Der theoretische Optimalfall, die Kombination von 40 Lagerungsklassen mit 29 Bodenfeuchteklassen, würde eine weder datentechnisch noch inhaltlich durchführbare Modellvielfalt bedeuten.

Unter „Geländeform“ (GFO) wird hier die auch bei dem Forstplanungsamt gebräuchliche Gruppierung der BFG-Klassen in nächsthöhere Einheiten verstanden, so z.B. die Gruppierung von BFG 26 und 27 zu „Rücken“ (RUC) (Tab. 5 und Tabelle im Anhang). Auf diesem Level müßten dann allerdings auch Stauwasserstandorte und Steilhänge als GFO-Klasse angesehen werden. Sie werden separat modelliert (7.2). Als Ausnahme wurde die BFG-Klasse 6 zu den „Schluchten und Tälern“ (hier „schmale Täler“) gestellt. Dafür spricht die Meinung von Standortkartieren (EBERL 1999, mündl.) und der Test auf Trennbarkeit der Klasse 6 entweder von den schmalen Tälern (1-4), den grundwasserbeeinflussten Tälern (5, 7, 8) oder den Hängen (17-25) (7.2.1). Es besteht allerdings auch die Meinung, keine deutliche Zuordnung zu der Gruppe schmaler Täler zu befürworten. Dabei wurde auf das oftmalige Auftreten von quelligen Flächen „am Hang“ ohne starke Einmündung verwiesen (WACHTER & STÜBER 1999, mündl.). Schließlich ergeben sich aus neunundzwanzig BFG-Klassen sieben GFO-Klassen (vgl. Tab. 5).

7.2.1 Zugehörigkeit der BFG-Klasse 6 zu GFO-Klassen

Was das Wasserdargebot betrifft, ist die Klasse 6, die Quellstandorte, der Gruppe der „Täler und Hangfüße“ (5, 7, 8) zuzuordnen, da an solchen Orten nahezu in der ganzen Vegetationszeit genügend Wasser vorhanden ist. Zur Ausweisung der Klasse 6 stehen aber nur geomorphologische Variablen zur Verfügung, weil die geologische Information des Schichteinfallens, die das Auftreten von Quellstandorten ebenfalls beeinflussen könnte, nicht gegeben sind. Insofern sollte die Gruppierung mit Rücksicht auf die geomorphologischen Variablen stattfinden.

Im FOA Bramwald wurde BFG 6 nicht kartiert, im Rev. Gittelde 4 mal, im Sollingvorland incl. dem Validierungsgebiet 29 mal und im Harzvorland 7 mal. Diese 40 Vorkommen können für den Test auf Zugehörigkeit der Klasse 6 zu bestimmten GFO-Klassen benutzt werden. Es ist zu prüfen, mit welchen IL und mit welcher Diskriminanzgüte eine Trennung von ähnlichen Klassen möglich ist; dazu wurden etwa 1300 Zellen je Klasse herangezogen.

Tab. 45: Diskriminatorische Gütemaße der Trennung von BFG 6 und ausgewählten GFO-Klassen.

BFG	GFO	Variablen, IL	Wilks'L.	ASCC
6	1234, Tal _{schmal}	FLI-I EUCKUPW	0.90	0.10
6	578, Tal _{grw}	PLAF EZGFFFW FLI-IL EUCKUPW PATLENFW	0.52	0.48
6	1725, Hang	EZGFFFL EXPSUMNAH SLODIS9	0.56	0.44

Die geringste Differenzierbarkeit (Wilks'L. oder ASCC, 6.2.2) ergibt sich im Vergleich mit den schmalen Tälern (1234). Das Ergebnis überrascht nicht, wenn man die Lage der 6er-Standorte im Kartenbild betrachtet: In Kartierungen wird der oftmalige Wechsel zwischen den BFG-Klassen 3 und 5 erkennbar. Die Trennung solcher Klassen wird durch die ähnliche Breite der Täler, die dort zwischen 15 und 30 m schwankt, erschwert. Da sich die Klassen 5, 7 und 8 aber meistens aus Tälern mit nennenswerten Sohlen zusammensetzen und langgestreckt sind, ist die Klasse 6, die so etwas nicht aufweist, davon recht gut zu trennen. Die Abfolge im Verlauf einer Tiefenlinie -vom Gewässeranfang gesehen- ist aber häufig 6 - 3 oder 6 - 4, also Quellstandort - Tal_{schmal}. Insofern ist eine Trennung nicht leicht. Die Trennbarkeit von den Hängen (1725) nimmt eine Mittelstellung ein. Hänge umgeben fast immer die BFG-Klasse 6. Quellige Stellen können sowohl an einem gestreckten Hang liegen, als auch in Eintiefungen. Insofern ist diese mittlere Trennbarkeit anzunehmen gewesen.

Dies spricht für die Zuordnung der Klasse 6 zu den schmalen Tälern. Hieraus folgt allerdings, die 6er-Quellstandorte anschließend nur von der Kombination 1U2 und 3U4, also bestimmten anderen Talstandorten, trennen zu können. Wenn die Klasse 6 in die GFO-Gruppe Tal_{schmal} (~12346) eingeht und modelliert wird, kann sie konsequenterweise anschließend nicht im Hangbereich als Teilklasse auf dem Level BFG ausgewiesen werden. Dort sind in dieser Gruppierung höchstens die Differenzierung der Hangstandorte (17 - 25) möglich.

7.2.2 GFO innerhalb Substrat „Festgesteine“ (2456)

Herleitung der Reihenfolge: Erster Schritt:

- Tal_{schmal} gegen „Andere“ (etwa je 12.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EXPSUMNAH		0.31	0.11				
2	2	EZGFFF		0.07	0.11				
3	3	FLI-L		0.08	0.06				
4	4	PATLENF		0.04	0.04	0.57	0.43	19	schmale Täler etwas zu ausgedehnt

- Tal_{grw} gegen „Andere“ (etwa je 3.400 Z):

Die GFO-Klasse 578 (breite, grundwasserbeeinflusste Täler) innerhalb der Substratgruppe „Festgesteine“ kommt verteilt über die Bereiche Gittelde, Bramwald, Solling- und Harzvorland (~Bergland) 31 mal auf insgesamt 34 ha vor.

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCHANG		0.45	0.16				
2	2	SLODIS9		0.08	0.11				
3	3	EXPSUMNAH		0.04	0.04				
4	4	SLODIS17		0.04	0.04	0.47	0.53	16	absolute Ausdehnung passend

- Ebene gegen „Andere“ (etwa je 12.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EXP210		0.42	0.25				
2	2	HOEDIF		0.07	0.04				
3	3	SLODIS17		0.02	0.02	0.52	0.48	18	Ebenen etwas zu ausgedehnt

- Hang gegen „Andere“ (etwa je 13.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLODIS9		0.17	0.05				
2	2	FLI		0.09	0.06				
3	3	SLOF		0.05	0.03				
4	4	EUCKUPW		0.03	0.05				
5	5	HOEDIFTIE		0.04	0.04	0.67	0.33	23	Andere etwas zu ausgedehnt

- MN 1, Rücken gegen „Andere“ (etwa je 10.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EXPSUMNAH		0.48	0.14				
2	2	PATLENFW		0.13	0.13				
3	3	SLODIS17		0.08	0.08				
4	4	PATLENF		0.06	0.06				
5	5	EXPMAXMINPRO		0.02	0.02	0.38	0.62	11	Rücken etwas zu ausgedehnt

Um das Prinzip der Modellwahl (Reihenfolge der Klassenausweisung, jeweils geeignete Variablen) an realen Daten zu verdeutlichen, sind die Einzelschritte auf dem Level GFO innerhalb der Substratklassengruppe „Festgestein“ ausführlich dargestellt worden. D.h., auch die Teilmodelle, die schließlich nicht zum Einsatz bei der Modellierung von Zielklassen in einem Ziel- bzw. Übertragungsgebiet kommen, sind aufgeführt. Bei knapperer Darstellung ist es lediglich bedeutsam, die Reklassifikationsgüte aller Teilmodelle und die Güte des jeweils im nächsten Schritt als am besten angesehenen Teilmodells bei Übertragung auf das Validierungsgebiet zu kennen. Dies genügt zumeist, um einen Modellierungszeitweig (Abb. 33) mit ausreichender Zuverlässigkeit fortführen zu können.

Die *error rates* bei Reklassifikation der GFO-Klassen sind im ersten Schritt also:

Täler_{schmal} 19 %, Täler_{grw} 16 %, Ebenen 18 %, Hänge 23 %, Rücken 11 %

Es ist nicht überraschend, dass die Hänge am schlechtesten von der Klasse „Andere“ zu trennen sind, weil Hänge gleichermaßen an alle einzelnen Klassen wie Ebenen, Täler und Rücken (~Andere) anschließen und damit im Übergangsbereich der Klassen ähnliche Werte der erklärenden Variablen auftreten. Diese Variablen tragen in den Übergangsbereichen tendenziell keine extremen Werte, was eine Trennung erschwert. Geht man hingegen von einer der Klassen Täler_{schmal}, Täler_{grw}, Ebenen oder Rücken aus, so ist die Vergesellschaftung der Nachbarklassen weniger gemischt: Direkt anschließend an Täler_{schmal} werden z.B. nahezu keine Rücken auftreten.

Aus der *error rates* folgt, die Klasse „Rücken“ (2627) gegen „Andere“ innerhalb der Festgesteine zuerst zu modellieren. Dies entspricht der Erwartung, weil die Rücken eine oftmals markante, also von anderen Bereichen trennbare Einheit darstellen. Somit wurde das Teildatenset „Rücken-Andere“ in das Datenset DB₁-2 aufgenommen (vgl. 6.1.6). Es beinhaltet die „endgültigen“ Parametrisierungsdaten, auf denen spätere Modellübertragungen basieren sollten. Geringe Distanz zu Bereichen großer Neigung, kurze Hanglängen und große Exponiertheit der näheren Umgebung bringen GFO Rücken hervor. EXPSUMDIF hat dabei mit pR²S 0.14 die größte Bedeutung.

Herleitung der Reihenfolge: Zweiter Schritt:

- Tal_{schmal} gegen „Andere“ excl. Rücken (etwa je 11.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	FLI-L		0.24	0.11				
2	2	EZGFFF		0.07	-				Einbezug
3	3	EZGFFFL		0.09	0.16				
4	4	EZGFFFW		0.02	0.14				
5	3		EZGFFF		-				Ausschluß
6	4	EZGFW		0.02	0.02	0.62	0.38	23	Tal _{schmal} etwas zu ausgedehnt

Hier tritt der Fall des Einbeziehens und Wiederausschließens von Variablen auf (vgl. 6.2.3): EZGFFF tritt anfangs ein und wird verdrängt, wenn zwei ähnliche Variablen EZGFFFL und EZGFFFW enthalten sind und EZGFW als dritte ähnliche Variable einbezogen werden kann.

- Tal_{grw} gegen „Andere“ excl. Rücken (etwa je 3.300 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCHANG		0.36	0.15				
2	2	SLODIS9		0.09	0.12				
3	3	SLODIS17		0.04	0.05				
4	4	FLI-I		0.02	0.02	0.54	0.46	19	-

- MN 13, Ebene gegen „Andere“ excl. Rücken (etwa je 11.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EXP210		0.58	0.17				
2	2	FLI		0.09	0.06				
3	3	EUCHANG		0.05	0.07				
4	4	SLODIS9		0.04	0.04	0.35	0.65	11	-

Interessanterweise wird die Variable Neigung SLOF nicht aufgenommen, obwohl der GÖS konkrete Schwellenwerte vorgibt (5 %). Allerdings tritt die Variable SLODIS9 ein, also die Distanz zu Flächen mit Neigung kleiner 9 %. Dies ist indirekt ein Maß für die Neigung, da Zellen den Distanzwert 0 aufweisen, wenn sie selbst weniger als 9 % Neigung aufweisen. Der Grund für diese Variablenwahl ist, dass eine Ebene oder „Verebnungslage“ komplexer gesehen werden muß, und zwar als ausgedehntere Fläche, die sich zum Beispiel von einem flachen Talboden oder flachem Ausschnitt eines Rückens abhebt. Vor allem größere Exponiertheit (EXP210) und höhere relative Hangposition (EUCHANG) führen zur Ausweisung von GFO Ebene, was sinnvoll ist, um sie von den zumeist nach unten anschließenden Bereichen abzugrenzen.

- Hang gegen „Andere“ excl. Rücken (etwa je 11.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	HOEDIFTIE		0.24	0.04				
2	2	SLODIS9		0.09	0.04				
3	3	EXPSUMNAH		0.08	0.11				
4	4	SLOF		0.03	0.04				
5	5	CTIF		0.02	0.02	0.60	0.40	20	-

Aus den vorgenannten vier Testläufen ergibt sich, im zweiten Schritt die Ebenen von der Klasse aller „Anderen“ zu trennen. Die Reklassifikations-*error rate* beträgt nur 11 %. Die anderen drei *error rates* liegen auf den gleichen Niveau von etwa 20 %. Auch dieses Zwischenergebnis war zu erwarten, obwohl Ebenen im forststandörtlichen Sinn nicht nur durch die Neigung einer Zelle definiert werden können. Bereiche der GFO-Klasse Ebene werden aber im Prinzip dort vorliegen, wo weiter ausgedehnte Gruppen von Zellen geringer Neigung ohne oftmalige oder starke Zerschneidung zu finden sind, was angenähert durch die drei Variablen EXP210, FLI und SLODIS9 beschrieben werden kann (vgl. 5.2.3). Hänge von einer Klasse „Andere“, in der die Täler integriert sind, zu trennen oder umgekehrt eine Talklasse von einer

Klasse „Andere“ zu trennen, in der die andere Talklasse und Hänge integriert sind, ist schwieriger, wie die *error rates* zeigen. Somit wurde ein Parametrisierungsdatensatz (DB₁-2) festgeschrieben, der die Trennung Ebene – Andere (excl. Rücken) innerhalb der „Festgesteine“ ermöglicht.

Herleitung der Reihenfolge: Dritter Schritt:

Da in der aktuellen Situation bereits zwei von fünf Klassen ausgewiesen sind, verbleibt als dritter Schritt der Test auf Trennung der dritten Klasse von den restlichen zwei Klassen.

- Tal_{schmal} gegen „Andere“ excl. Rücken und Ebenen (etwa je 6.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EXPSUMNAH		0.11	0.06				
2	2	EZGFFF		0.10	0.14				
3	3	FLI		0.02	0.04				
4	4	SLODIS17		0.03	0.03	0.76	0.24	30	-

- Tal_{grw} gegen „Andere“ excl. Rücken und Ebenen (etwa je 3.300 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	HOEDIFTIE		0.26	0.06				
2	2	SLODIS9		0.08	0.10				
3	3	SLODIS17		0.04	0.04				
4	4	FLI-I		0.02	0.02	0.64	0.36	22	Tal _{grw} etwas zu ausgedehnt

- MN 14, Hang gegen „Andere“ excl. Rücken und Ebenen (etwa je 6.600 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EXPSUMNAH		0.44	0.12				
2	2	HOEDIFTIE		0.17	0.06				
3	3	EXP2		0.03	0.05				
4	4	SLOF		0.02	0.02	0.44	0.56	13	-

Zu diesem Schritt ist anzumerken, dass die Klasse „Andere“ aus zwei GFO-Klassen aufgebaut wird, die sehr ähnlich sind: Tal_{schmal} und Tal_{grw}. Insofern ist es zu erwarten, bei der Trennung der Hänge von diesen Klassen eine geringe *error rate* von 13 % zu erreichen. Es liegt sowohl von Seiten der Begrifflichkeit (Hang – Tal) als auch von Seiten der *error rates* auf der Hand, nun im dritten Schritt die Hänge von den Tälern (~Andere) zu separieren. Es wird dazu eine weitere permanente Datei des Datensets DB₁-2 für spätere Übertragungen erzeugt. Größere Exponiertheit der näheren Umgebung, größere Höhendifferenz zur Tiefenlinie, größere Exponiertheit der weiteren Umgebung und größere Neigung tendieren zu GFO-Klasse Hang anstatt zur Gruppenklasse „Andere“.

Vierter und letzter Schritt:

- MN 15, Tal_{schmal} gegen Tal_{grw} (etwa je 3.500 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLODIS9		0.15	0.07				
2	2	EZGFFF		0.06	0.10				
3	3	EZGFL		0.04	0.05				
4	4	FLI-I		0.03	0.03	0.74	0.26	27	-

Im vierten und letzten Schritt ist nur zwischen den beiden GFO-Klassen Tal_{schmal} und Tal_{grw} zu trennen. Mit 27 % erscheint die *error rate* hoch. Dies ist aber nicht sonderlich negativ zu bewerten, da es sich um zwei sehr ähnliche Klassen handelt, die schwer zu trennen sind. Je größer EZGFFF, und je geringer die Distanz zu flachen Bereichen (SLODIS9) und je geringer der Form Lage-Index FLI-I, desto eher resultieren die grundwasserbeeinflussten Täler. Dies ist plausibel. Dass aber EZGFL entgegen EZGFFF agiert, verwundert zuerst: Je größer EZGFL, desto eher resultiert Tal_{schmal}. (Vorgriff: Der Modellierungserfolg muss anhand der Klassenkonstellation im Validierungsgebiet geprüft werden, wo sich modellintern keine

unbrauchbare Lage ergibt.) Hier zeichnet sich trotzdem bereits ein Problem der Klassennachbarschaft und Eignung der Einzugsgebietsvariablen ab, das in 7.2.5, 7.2.6 und Kapitel 8 wieder aufgegriffen wird.

Übertragung auf das Validierungsgebiet innerhalb Substrat „Festgestein“ (2, 4, 5, 6)

Nach Modellierung der Substratklassen 3, 7 und „Andere“ (~Festgestein, 2, 4, 5, 6) beträgt die Ausdehnung der Klasse „Festgestein“ im Validierungsgebiet etwa 1076 ha. In diesem Teilraum sollen GFO-Klassen ausgewiesen werden.

Die Festlegung der Modellierungsreihenfolge anhand der Datensätze DB_I-1 und bei Anwendung der Datensätze DB_I-2 ergab folgenden schrittweisen Ablauf und folgende Flächenausdehnungen.

Tab. 46: Schritte und Kennzahlen der Modellierung der GFO-Klassen innerhalb der Festgesteinsbereiche.

Schritt	GFO-Klasse	Code	<i>a-priori</i> %	Ausdehnung %	Ausdehnung ha
1	Rücken	2627	10	3,7	41
2	Ebenen	911	1	17,4	186
3	Hänge	1725	70	70,4	757
4	Tal _{schmal}	12346	70	6,5	70
	bzw. Tal _{grw}	578	30	2,0	22

(Ausdehnung in % bezieht sich auf gesamte Teilraumfläche von etwa 1076 ha, nicht auf den jeweils aktuellen Teilraum.)

In jedem Schritt kann und muss mit der *a-priori*-Option der Prozedur *discrim* die Ausdehnung der aktuellen Zielklasse justiert werden (vgl. Kap. 6). Zur Herleitung der Zielklassengröße finden sich Vorschläge in Abschnitt 7.6. Hier bei der Übertragung auf das Validierungsgebiet wurde die anzustrebende Ausdehnung wie auch bei der Substratmodellierung anhand der bekannten, kartierten Werte und des Höhenlinienbildes, eingeschätzt.

Die Datensätze DB_I-2, also die endgültigen Parametrisierungsdaten für Einzelklassen, wurden nun wieder wie bei der Substratmodellierung für die Anwendung auf das Validierungsgebiet genutzt. Das Ergebnis wird zusammenfassend nach der anschließenden GFO-Modellierung innerhalb der Substratklassen 3 und 7 (Lösse, Kolluvien / Alluvien) gezeigt (Abb. 52). Der Status ist:

Status	Standortkomponente	Klassen	Standortkomponente	Klassen
5	Substrat	1	Geländeform	-
	Substrat	2456	Geländeform	12346 578 911 1725 2627
	Substrat	3	Geländeform	-
	Substrat	7	Geländeform	-
	Substrat / Lagerung	11- 74	-	-

7.2.3 GFO innerhalb Substrat „Lösse“ (3)

Die primäre Datenbasis für diese Untergliederung innerhalb „Lösse oder ähnliche feinkörnige Sedimente“ stellt sich folgendermaßen dar:

GFO-Klassen innerhalb Substrat 3	Code	Polygonanzahl	ha
Tal _{schmal}	12346	69	78
Tal _{grw}	578	38	57
Ebene	911	60	226
Hang	1725	345	1078
Rücken	2627	0	0

Neben den häufigen Hängen und Ebenen sind genügend Flächen vorhanden, die als Täler (schmal 69, grundwasserbeeinflusst 38) kartiert worden waren. Insofern ist es berechtigt, diese vier Klassen voneinander trennen zu wollen. Wie bei Substrat 3 zu erwarten, kommen keine „Rücken“ vor; Lößbereiche können sich kaum etabliert haben, wo das Relief den Charakter von „Rücken, Rippen, Kämmen, Kuppen, Oberhängen und Plateaurändern“ (GÖS 2000) hat. Insofern ist nur die Modellierungsreihenfolge für vier Klassen festzulegen: Die ersten beiden Schritte sind konkret zu definieren. Im dritten Schritt sind dann lediglich die verbleibenden zwei Klassen zu modellieren.

Das Fehlen der Klasse Rücken innerhalb der Substratklasse 3 „Lösse“ entgegen der Klasse „Festgesteine“ ist ein Grund dafür, getrennte Wasserhaushaltsmodelle für die Substratklassen zu erstellen. Es ist einzusehen, dass ein GFO-Modell, was allgemeingültig für alle Substratklassen ist und deshalb auch die Rücken beinhalten muß, für Bereiche, die diese Klasse nicht enthalten dürfen, wenig geeignet ist. Hier tritt im Verlauf der Herleitung der Teilmodelle anhand realer Daten der Sachverhalt auf, auf dessen Grundlage das Modellprinzip entwickelt wurde (6.1): Die schrittweise (~klassenweise), geschachtelte Modellierung.

Herleitung der Reihenfolge: Erster Schritt:

- MN 16, Ebene gegen Andere (etwa je 22.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EXP210		0.58	0.09				
2	2	FLI		0.08	0.06				
3	3	SLODIS17		0.03	0.03				
4	4	EUCTIEW		0.02	0.08				
5	5	EUCHANG		0.05	0.05				
6	6	FLI-L		0.03	0.03	0.34	0.66	11	Ebenen etwas zu weit ausgedehnt

(Hinweis: Einstrahlungs- und Windexponiertheitsvariablen in diesem Abschnitt nicht zur Verwendung bereitgestellt).

- Hang gegen „Andere“ (etwa je 22.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLODIS17		0.11	0.07				
2	2	EXPSUMNAH		0.12	0.14				
3	3	SLODIS9		0.05	0.03				
4	4	PATHOELENQUO		0.03	0.03	0.73	0.27	26	Hänge etwas zu gering ausgedehnt

Die Wahl des ersten Modellierungsschrittes war eindeutig: Ebenen sollten anfangs von den „Anderen“ getrennt werden, da die *error rate* in diesem Fall bei Reklassifikation nur 11 % beträgt. Die anderen Teilmodelle waren ungünstiger, beispielsweise Hang - Andere 26 %. Sie werden hier nicht weiter ausgeführt. EXP210 ist am wichtigsten: Erhöhte Exponiertheit fördert die Klasse Ebene entgegen der

Sammelklasse „Andere“ was plausibel ist, da „Andere“ die Täler und Hänge beinhaltet. Die Interpretation der anderen fünf Variablen ist schwierig, zumal insgesamt sechs Variablen im Diskriminanzmodell vereinigt werden und das Modell als Ganzes gesehen werden muss. EUCTIEW als zweitbedeutsamste IL agiert zum Beispiel so, dass bei geringer Distanz zur Tiefenlinie tendenziell Ebenen modelliert werden. Dies kann man als unplausibel deuten, wenn man propagiert, dass die Ebenen der Lößbereiche relativ weit von den Tiefenlinien der Lößbereiche entfernt sein müssten. Auch hier kann im Vorgriff auf die Zusammenstellung der Teilmodelle im Validierungsgebiet gesagt werden, dass das Ergebnis aber akzeptabel ist. Ein weiteres Datenset des DB₁-2-Pools wurde als Modell MN 16 festgelegt.

Herleitung der Reihenfolge: Zweiter Schritt:

- MN 17, Hang gegen „Andere“ excl. Ebene (etwa je 13.500 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EXPSUMNAH		0.14	0.17				
2	2	SLODIS9		0.06	0.03				
3	3	PATHOELENQUO		0.02	0.02	0.79	0.21	27	Hänge etwas zu gering ausgedehnt

Variable EXPSUMNAH ist am bedeutsamsten und tendiert sinnvoll zur Ausweisung der Klasse „Andere“, die hier aus Talklassen besteht, wenn sie hohe Werte annimmt (vgl. Karte 1b). Weiter gilt ebenfalls sinnvollerweise: Je größer die Distanz zu Bereichen geringer Neigung, desto eher ist die GFO-Klasse Hang. Die Eignung der Variablen PATHOELENQUO ist zuerst nicht offenkundig. Es handelt sich um eine Variable, die hohe Werte annimmt, wenn relativ hochreichende Hänge bei relativ geringer Hanglänge vorliegen: Befindet sich ein relativ steiler Kurzhang oberhalb der betrachteten Zelle Z0, so ist der Wert hoch. Es zeigt sich, dass höhere Werte den Hang beschreiben, während geringere Werte die Talbereiche charakterisieren, was akzeptabel ist.

Der geringe Beitrag von SLODIS9 könnte Grund sein, die Verbleibschwelle von 0.02 auf 0.03 zu setzen, um die Variablenanzahl zu verringern. Hier aber, wo es sich um insgesamt nur drei Variablen handelt, ist es günstiger, SLODIS9 zu belassen, da damit eine größere Diversität der Klassenverteilung im Raum erreicht wird. Da die *error rate* nicht gering ist (27 %) und somit die Präferenz dieses Teilmodells nicht auf der Hand liegt, wurde getestet, ob andere Teilmodelle in diesem Schritt erfolgreicher sind.

- Tal_{schmal} gegen „Andere“ excl. Ebene (etwa je 7.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	HOE		0.12	0.16				
2	2	EXPMAXMINPRO		0.08	0.09				
3	3	EZGFFF		0.02	0.03				
4	4	FLI-I		0.02	0.02	0.78	0.22	31	-

Hier wird die Variable HOE einbezogen, also die absolute Geländehöhe. Sie trägt mit 0,16 auch das höchste pR²S. Ihre Verwendung ist zweifelhaft, weil eine Modellübertragung auch in Gebieten mit abweichender Höhererstreckung funktionieren muß. Dies wäre im Anwendungsfall zu überwachen.

- Tal_{grw} gegen „Andere“ excl. Ebene (etwa je 5.700 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCHANG		0.09	0.03				
2	2	SLODIS17		0.04	0.06				
3	3	EXP210		0.03	0.02				
4	4	EZGFFFW		0.02	0.02	0.83	0.17	33	-

(Hinweis: Einstrahlungsvariablen nicht zur Verwendung bereitgestellt)

Zwischenergebnis GFO in Substrat 3:

Die beiden Teilmodelle zur Trennung der Täler von „Anderen“ sind nicht erfolgversprechender als das der Trennung Hänge – „Andere“. Wie zu erwarten ist in Schritt 2 die Trennung der Hänge von den „Anderen“, die in dieser Situation aus Tal_{schmal} und Tal_{grw} aufgebaut werden, am erfolgversprechendsten. Dies korrespondiert auch mit der Reihenfolge der GFO-Modellierung innerhalb Substrat „Festgestein“ (2, 4, 5, 6), wo nach der Ausweisung der Ebenen im nächsten Schritt auch die Hänge von den verbleibenden Tälern getrennt werden. Insgesamt ist die Modellierung der GFO-Klassen innerhalb Substrat 3 „Lösse“ etwas schwieriger als innerhalb der „Festgesteine“. Die *error rate* bei Schritt drei „Hänge“ ist dort 13 %, hier bei Schritt zwei „Hänge“ 27 %. Der Grund wird klar, wenn berücksichtigt wird, dass die mächtigeren Lockermaterialien in moderat reliefierten Arealen im Lauf der Bodenentwicklung verbleiben, während die Festgesteinsbereiche eine größere Spreitung der Reliefpositionen abdecken. Die Trennung von Klassen in einem weniger heterogenen Bereich -wie den Lössen- ist mit ausschließlich geomorphologischen Variablen anscheinend schwieriger zu erreichen.

Dritter und letzter Schritt:

- Tal_{schmal} gegen Tal_{grw} (etwa je 7.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCHANG		0.07	0.07				
2	2	SLODIS17		0.04	0.07				
3	3	SLOF		0.03	0.05				
4	4	EZGFFF		0.03	0.03	0.84	0.16	33	-

(Hinweis: HOE und Einstrahlungsvariablen nicht zur Verwendung bereitgestellt)

In Substratklasse 3 verblieben schließlich noch die GFO-Klassen Tal_{schmal} und Tal_{grw} . Ihre Trennung ist schwierig, was sich auch in den geringen pR²S-Werten jeder einzelnen Variablen zeigt. Auch innerhalb der Festgesteine (7.2.2) ergab sich im letzten Schritt eine geringe Trennbarkeit mit einer Fehlquote von 27 %. Dieser problematische Sachverhalt ist zu diskutieren und eine Verbesserung anzustreben (7.2.6).

Übertragung auf das Validierungsgebiet innerhalb Substrat „Lösse“ (3)

Nach Modellierung der Substratklassen 3, 7 und „Andere“ belegen die „Lösse“ im Validierungsgebiet etwa 476 ha. Dies entspricht etwa der Kartierung. In diesem Modellbereich sollen GFO-Klassen ausgewiesen werden. Für die drei Schritte zur Trennung von vier Klassen werden insgesamt folgende elf Variablen herangezogen:

EXPSUMNAH, EXP210, FLI, FLI-L, SLODIS17, SLODIS9, EUCTIEW, EUCHANG, PATHOELENQUO, SLOF, EZGFFF.

Die Festlegung der Modellierungsreihenfolge anhand der DB₁-1-Datensätze und die anschließende Anwendung der DB₁-2-Datensätze ergibt:

Schritt	GFO-Klasse	Code	<i>a-priori</i>	Ausdehnung %	Ausdehnung ha
1	Ebenen	911	1	15,3	73
2	Hänge	1725	60	61,7	294
3 bzw. 4	Tal _{schmal}	12346	60	13,0	62
	bzw. Tal _{grw}	578	40	10,0	47

(Ausdehnung in % bezieht sich auf die gesamte Teilraumfläche von 408 ha, nicht auf den jeweils aktuellen Teilraum.)

7.2.4 GFO innerhalb Substrat „Kolluvien/Alluvien“ (7)

Die Datenbasis für diese angestrebte Untergliederung besteht aus folgenden Kartierungsergebnissen:

GFO-Klassen innerhalb Substrat 7	Code	Polygonanzahl	ha
Tal _{schmal}	12346	8	20
Tal _{grw}	578	59	225
Ebene	911	2	4
Hang	1725	6	6
Rücken	2627	0	0

Wie nach Definition der Klassen im GÖS 2000 zu erwarten, nimmt die GFO-Klasse Tal_{grw} den größten Bereich ein (etwa 88 %). Die schmalen Täler sind im nennenswerten Umfang vorhanden; ihre Anzahl und Ausdehnung bewegt sich aber an der Untergrenze der Verwendbarkeit für die Modellbildung. Es ist aber standörtlich durchaus möglich, dass diese Klasse innerhalb Substrat 7 auftritt. Außerdem kommt sie in der Datenbasis sowohl am Südwestharzrand als auch am Südostsollingrand (~Bergland) vor, was für Allgemeingültigkeit spricht. So wurde sie in das Set der Zielklassen aufgenommen. Hänge und Ebenen sind sehr selten und geringflächig vorhanden. Wie bei Substrat 7 zu erwarten, kommen keine Rücken vor. Diese drei letztgenannten potenziellen Zielklassen blieben unbeachtet, was bei größerer Datenbasis eventuell revidiert werden müsste. Insofern müssen nun aber nur zwei Klassen getrennt werden:

Einzigster Schritt:

- Tal_{schmal} gegen Tal_{grw} (etwa je 2.300 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	FLI-IL		0.38	0.28				
2	2	PATHOE		0.13	0.11				
3	3	PLAF		0.07	-				
4	4	EZGFFF		0.05	0.13				
5	5	EZGFL		0.05	0.12				
6	4		PLAF		-	0.46	0.54	13	-

Die *error rate* ist scheinbar recht günstig. Dies korrespondiert mit den hohen einzelnen pR²S-Werten der Variablen. Hier muss allerdings angemerkt werden, dass die *pR²entry*- und *pR²stay*-Werte von 0.02 auf 0.04 hochgesetzt wurden, um eine Auswahl von nur vier statt acht Variablen zu erreichen. Eine große Anzahl gewählter Variablen bei hohem Erklärungswert des Modells deutet auf eine nur scheinbar sichere Modellbildung hin, die sich aber aus einem relativ geringen und somit wenig repräsentativen Datenpool ergibt (nur 8 Flächen der Klasse Tal_{schmal}). Der Anwender ist dann besonders gefordert, die Übertragung des Modells auf Plausibilität zu prüfen. Aus pragmatischen Gründen ist die Variablenanzahl auf wenige Variablen reduziert worden. Dies ändert allerdings nichts an der datenbasisinduzierten Unsicherheit des Teilmodells.

Übertragung auf das Validierungsgebiet innerhalb Substratklasse „Kolluvien/Alluvien“ (7)

Nach Modellierung der Substratklassen 3, 7 und „Andere“ belegen die „Kolluvien/Alluvien“ im Validierungsgebiet etwa 36 ha. Zwei GFO-Klassen können darin ausgewiesen werden. Die Anwendung des DB_I-2-Datensatzes ergibt folgende Werte, die im nächsten Abschnitt diskutiert werden.

Schritt	GFO-Klasse	Code	<i>a-priori</i>	Ausdehnung %	Ausdehnung ha
1 bzw. 2	Tal _{schmal}	12346	20 %	4,0	1
	bzw. Tal _{grw}	578	80 %	96,0	35

7.2.5 Zusammensetzung der Teilmodelle im Validierungsgebiet

Setzt man die GFO-Klassen der Teilmodelle innerhalb Substrat „Festgestein“, „Löß“ und „Kolluvien / Alluvien“ zusammen, so ergibt sich ein teilweise unbefriedigendes Bild. Im Bereich der weniger guten Diskriminanzteilmodelle, z.B. zwischen beiden Talklassen, ist die Konstellation stellenweise ungewöhnlich. Dies beruht entweder auf den Teilmodellen oder auf der räumlichen Zusammensetzung der drei Modelle. Erstmals tritt hier eine bestimmte, verfahrensbedingte Art der Klassennachbarschaft auf. Es wurden bis hier die GFO-Klassen Rücken, Ebenen, Hang, Tal_{schmal} und Tal_{grw} modelliert und zwar zuerst innerhalb der Festgesteine und anschließend (außer den Rücken) innerhalb der Lössen. Dem liegen jeweils eigene Modelle zugrunde, bestehend aus bestimmten Variablen, Diskriminanzfunktionen und *a-priori*-Annahmen. Am Wechsel von Festgestein zu Löß müssen demnach nicht die gleichen GFO-Klassen aneinander anschließen, es sei denn, die Teilmodelle wären perfekt. Gleiches gilt für die Nachbarschaft von Lössen einerseits und Kolluvien/Alluvien andererseits.

Abb. 52 zeigt das Prinzip der Zusammensetzung bei verschachteltem Vorgehen. Es entstehen Konstellationen, die bei analoger Kartierung nicht oft vorkommen.

a An die Klasse Tal_{grw} schließt seitlich die andere Talklasse Tal_{schmal} an (a). Dies ist ungewöhnlich. Grundwassertäler sind im Verlauf der Tiefenlinie flach und -wenn vorhanden- in einem ebenfalls flachen Umgebungsbereich relativ breit expandiert. Insofern ist die Modellierung des Grundwasserstandorts korrekt. Der anschließende Hang wird forststandörtlich nicht in die Grundwasserstandorte integriert, weil er das charakteristische Grundwasservorkommen nicht aufweist. Es ist standörtlich nicht abwegig an einem Sohlentaltboden einen Grundwasserstandort (5) zu modellieren, daran hangwärts anschließend einen Talstandort (3) und dann weiter hangwärts einen eigentlichen Hangstandort (18). Es ist, wahrscheinlich auch aus kartographischen Gründen, nur ungewöhnlich, eine solche Konstellation auszukartieren: Die BFG-Klasse 3 liegt dann nur als schmales Band zwischen den beiden anderen Klassen. Standörtlich ist die Konstellation aber korrekt, weil BFG 3 bedeutet, dass auf solchen Zellen Talcharakter vorliegt: „Sehr frische, nachhaltig frische und hangfrische bis hangfeuchte Hangstandorte mäßig tief eingeschnittener Rinnen (mit schmalen Sohlen und Kurzhangflanken), ...“. Die Sohle selbst wird hier den Grundwasserstandorten angehören (5, 7, 8), die Hangflanke aber dem Talstandort 3. Sehr ähnlich ist der Sachverhalt, wenn BFG 4 statt 3 modelliert würde, also noch weniger tief eingeschnittene Talzellen. Entscheidend ist die Wasserversorgung und der aus der Geländesituation abzuleitende, mutmaßliche Wasserverbrauch an dem Ort; knapp oberhalb einer Talsohle mit Grundwasseranschluß kann sich durchaus eine relativ geschützt liegende, gut wasserversorgte Zelle anschließen.

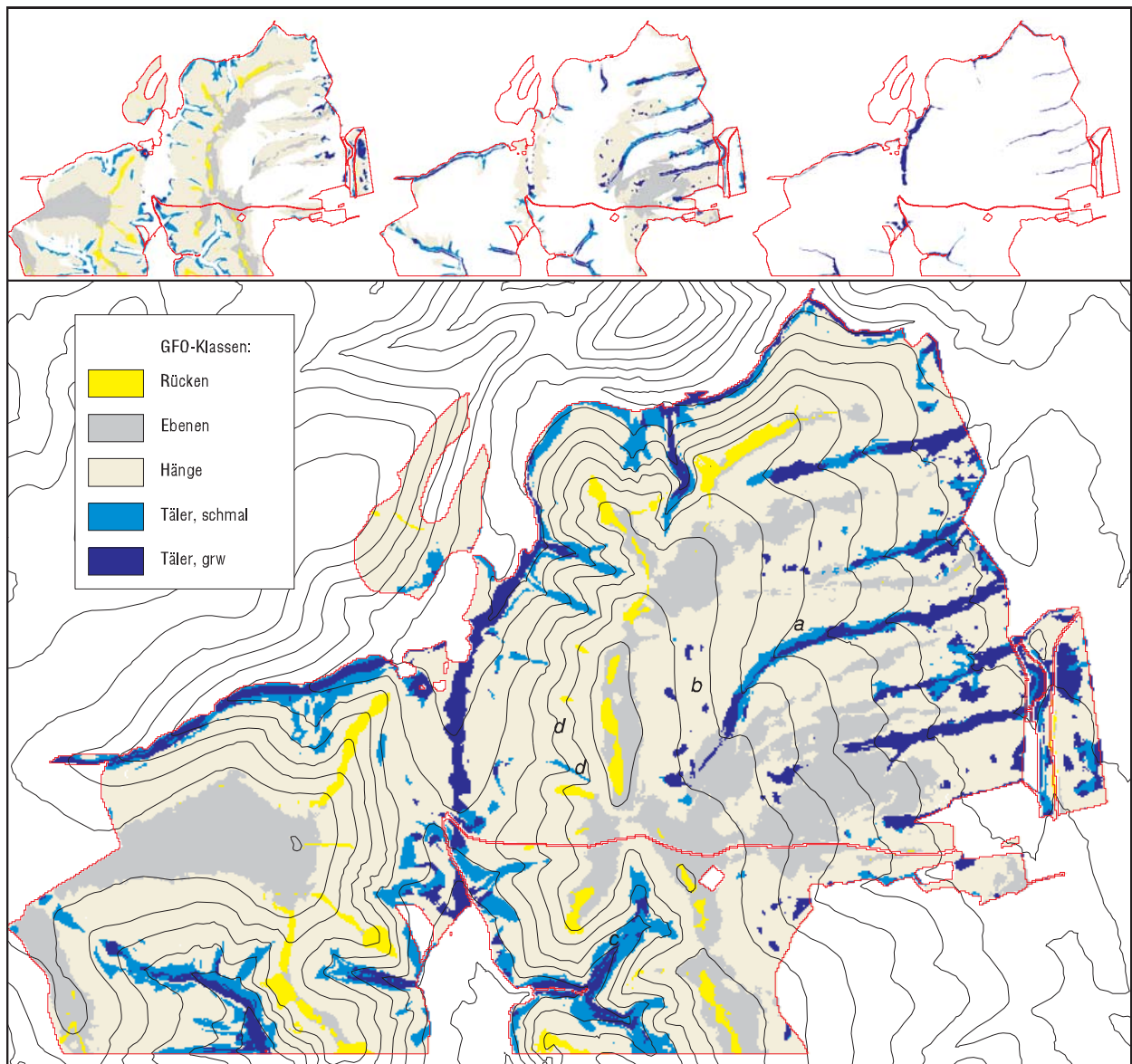


Abb. 52: GFO-Klassen vor und nach Zusammensetzung der Teilmodelle für drei Substratklassen „Festgestein“, „Löß“ und „Kolluvien/Alluvien“. Maßstab oben 1:120.000, unten 1:40.000. 20 m Äquidistanz. Ausschnitt 3548100 5729500 3555300 5734100.

Da es sich im dem aufzustellenden Gesamtmodell um Vorschläge zur Kartierung handelt, bleibt es dem Kartierer freigestellt, die richtig erscheinende Klasse in einem solchen modellierten Talquerschnitt auszuweisen, entweder Tal_{schmal} oder Tal_{grw} . Auf beide wird in solch einem Bereich durch das Modell hingewiesen. Modellierte Tal_{schmal} -Bereiche zwischen Tal_{grw} und Hang könnten z.B. auch als eine „frischere“ Hang-BFG-Klasse kartiert werden (18 oder 22, vgl. Tab. 5 und Anhang). Das Phänomen ungewöhnlicher Klassennachbarschaft wird in 7.3.5 und 7.3.6 bei der BFG-Modellierung noch prägnanter.

b Einige Talstandorte kommen fleckhaft, nicht linienhaft vor (b). Dies betrifft einige Tal_{grw} -Flächen innerhalb Substrat 3. Eine Erklärung kann sein, dass im zweiten Modellierungsschritt innerhalb Substrat 3 die Hänge von „Anderen“ getrennt wurden, wobei „Andere“ Tal_{schmal} und Tal_{grw} sind und dabei keine Einzugsgebietsvariable einbezogen wird, die linienhafte Formen hervorbringen könnte.

c Innerhalb der Festgesteine reichen die Talflanken z.T. weit hangaufwärts (c). Dies ist aber dann nicht unpassend, wenn die Talflanken steil sind und somit auch noch relativ weit oberhalb des Taltiefsten der Talcharakter auftritt.

d Es existieren zu wenige, schmale Abschnitte, die im Verlauf der weiteren Untergliederung in die Klasse Tal_{schmal} und anschließend etwa in die BFG-Klasse 3 oder 4 (7.3.5) eingeordnet werden könnten (d). Ein Lösungsansatz ist die Integration der sog. Strukturinformation (vgl. 5.2 und 7.2.9).

Da zuvor festgelegt wurde, dass innerhalb der Substratklasse 7 ausschließlich Tal-GFO-Klassen vorkommen, ist auch die Ausdehnung der Substratklasse 7 für die spätere GFO-Modellierung wichtig. Hier wird deutlich, welchen starken Einfluß die vorausgehenden Modellschritte bei einem geschachtelten Vorgehen auf die Folgeschritte haben. Insofern ist in jedem Schritt darauf zu achten, plausible, adäquat ausgedehnte Klassen auszuweisen.

Die Mängel der bisherigen Talklassenmodellierung sind trotz der zuvor erläuterten Akzeptierbarkeit Grund für den folgenden Modellschritt. Eine Alternative ist die gleichzeitige Modellierung bzw. Trennung zweier Klassen innerhalb zweier zusammengelegter Substratbereiche, wie z.B. Tal_{schmal} gegen Tal_{grw} zusammen in Substrat 3 und 7 (7.2.6). „Alternativen“ und „Zusatzmodule“ fungieren als Korrekturen.

7.2.6 Tal-GFO-Klassen innerhalb Substrat 3 und 7 als Alternative

Wie zuvor dargestellt ist die Trennung der beiden Klassen Tal_{schmal} und Tal_{grw} jeweils separat innerhalb Substrat 3 und 7 schwierig. Bei Klasse 3 ist zu bedenken, dass die Bereiche des Tals nach der Modellierung von Ebenen und Hängen als „Rest“ verbleiben, der noch einmal zergliedert werden soll. Dieser restliche Bereich ist in zweierlei Hinsicht, räumlich und auch bezüglich der erklärenden Variablen, „verengt“:

- Es kann sich nur um Zellen handeln, die innerhalb Substrat 3 in tiefliegenden Bereichen positioniert sind. Die „nach unten“ anschließenden Bereiche der Gesamtfläche sind darüber hinaus oftmals durch Substrat 7 belegt.
- Der verbleibende Raum ist gering und somit ist auch das Wertespektrum der vorgegebenen Variablen, die zur Trennung der beiden Talklassen ausgewählt werden sollen, eng. Dies erschwert die Modellierung.

Bezogen auf Klasse 7 sind die Gründe zusätzlich darin zu suchen, dass die Datenbasis recht gering ist. Der Klassenausweisung innerhalb der Talbereiche von Substrat 3 und 7 ist also nur ein geringer Spielraum zugebilligt. Da beide Substrate oftmals vergesellschaftet sind (Abb. 38), liegt es nahe, die zuvor festgelegten, jeweils letzten Modellschritte zu ersetzen, indem nur ein Schritt auf den Gesamttraum von Substrat 3 und 7 angewendet wird. Eine komplette Zusammenlegung der GFO-Modellierung in den beiden Substraten kommt nicht in Betracht, da die beiden Klassen Ebene und Hang zumindest in den Basisdaten nicht innerhalb Substrat 7 vorkommen. Auf Grundlage der Kombinationen Substrat 3 „Löß“ und 7 „Kolluvien/Alluvien“ mit GFO Tal_{schmal} und Tal_{grw} wurden je 2.000 Zellen herangezogen, die zu folgender Modellbildung führten.

- MN 18, Tal_{schmal} gegen Tal_{grw} innerhalb Substrat 3u7 (etwa je 4.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	FLI-IL		0.15	0.12				
2	2	PATHOE		0.08	-				
3	3	PLAF		0.05	-				
4	4	EXP8		0.03	0.14				
5	3		PATHOE	-	-				
6	4	EXPMAXMINPRO		0.06	0.08				
7	3		PLAF	-	-				
8	4	EZGFFF		0.05	0.06				
9	5	PATLENF		0.03	0.03				
10	6	EZGFL		0.03	0.03	0.64	0.36	21	EZGFL nachträglich eliminiert

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.025 zur Reduzierung der Variablen)

Zwei Variablen sind recht bedeutsam: EXP8 und FLI-IL. Zwei weitere sind offensichtlich nützlich (EXPMAXMINPRO, EZGFFF) und die verbleibenden PATLENF und EZGFL bringen nur sehr geringe Erklärungsbeiträge ein. Sie würden bei Erhöhung der Verbleibschwelle pR²S von 0.025 auf 0.035 nicht im Modell auftreten. Die *error rate* ist mit 21 % bei Reklassifikation wie erwartet besser als bei dem Teilmodell innerhalb Substrat 3, aber schlechter als bei dem innerhalb Substrat 7.

Der Grundwasserstandort GFO Tal_{grw} ergibt sich dort, wo FLI-IL geringe Werte annimmt (vgl. Karte 1c), wo EXP8 geringe Werte annimmt, EXPMAXMINPRO große Werte und EZGFFF ebenfalls große Werte annimmt. Die Wirkung dieser vier bedeutsamsten Variablen ist plausibel. Auch tendiert PATLENF unter der Annahme, dass größere Hanglängen in flacheren Grundwasserbereichen vorkommen, richtig.

Übertragung auf das Validierungsgebiet innerhalb der Talbereiche der Substratklassen 3 und 7

Die Anwendung des DB₁-2-Datensatzes ergibt folgende Werte. Es wurden die *a-priori*-Vorgaben so justiert, dass etwa die gleichen Ausdehnungen der beiden GFO-Klassen wie bei separater Modellierung in Substrat 3 und 7 resultieren: Dies ermöglicht den Vergleich der Lage der Klassen im Raum.

Schritt	GFO-Klasse	Code	<i>a-priori</i>	Ausdehnung ha	Ausdehnung ha nach Variablenherausnahme
1 bzw. 2	Tal _{schmal}	12346	35 %	62	53
	bzw. Tal _{grw}	578	65 %	84	93

Das Ergebnis war allerdings nicht günstig: Die Klasse 12346 wurde mancherorts als schmales Band inmitten der Täler umgeben von der Klasse 578 modelliert, also umgekehrt, als es im vorangestellten Ansatz bereits als Mangel gezeigt war. Das Problem wurde somit sogar verstärkt, weil diese Konstellation weniger plausibel ist. Wie ist dieser Mangel begründet? Nach Herausnahme der Variablen EZGFL, die nur geringen Beitrag zur Trennung der Talklassen leistet, war das Ergebnis deutlich besser: Die Konstellation war insofern plausibel, als dass numehr die grundwasserbeeinflussten Talabschnitte im unteren, flachen Talbereich liegen, die schmalen Täler im stärker eingetieften, oberen Bereich. Letztgenannte Talklasse findet sich zudem an den Talflanken im Anschluß an die passend positionierten Grundwasser-Täler, aber nicht so häufig wie in dem Standard-Modell, für das eine Alternative gesucht wurde. Insofern ist dieses Alternativmodell nutzbar.

Der gesamte Sachverhalt ist ein Beispiel dafür, dass eine automatisierte, statistische Variablenwahl nicht immer zu befriedigenden Ergebnissen führt und ständige Überwachung und anwenderbasierte Lenkung angebracht ist. Einzugsgebietsvariablen können trotz objektiver Auswahl ein Problem darstellen.

Auch aus pragmatischer Sicht ist dieser Modellschritt akzeptabel: Zwar muss bei der Zusammenstellung der Restfläche abweichend von dem substratspezifischen Schema vorgegangen werden, da der Bereich „Tal“ in Substrat 3 und 7 als eine Einheit aufgefasst wird. Dieser Mehraufwand der Datenhaltung wird aber durch die Verringerung der Teilmodellanzahl um 1 aufgehoben.

Abb. 56 zeigt das GFO-Ergebnis nach Ergänzung durch Zusatzmodul 2 unter Einbeziehung der „Strukturinformation“, einer Komponente der Höhendatenbasis.

7.2.7 Exkurs: Streuung modellierter Klassen

Nach jedem für eine Aggregationsstufe vollständigen Modellierungsschritt oder sogar nach jedem einzelnen Schritt könnte das Zwischenergebnis hinsichtlich gestreuter, einzelner Zellen oder Zellengruppen bereinigt werden. Dazu sind im GIS Filterfunktionen vorhanden. Solche Zwischenschritte wurden aber nicht eingebaut, weil sie dem Prinzip der Modellierung widersprechen würden:

Die jeweilige Modellierungsbasis für einen Folgeschritt beinhaltet immer nur Probanden (Zellen), die bereits zu einer vorgeordneten Klasse oder Klassengruppe gehören. Beispielsweise beinhaltet das DB₁-2-Datenset für die Modellierung der GFO-Klassen innerhalb Substrat 3, Löss, nur Zellen, die nach Kartierung im Lößbereich liegen. Würde die Modellierung der Löss durch Filterfunktionen verfälscht bzw. hinsichtlich der Streuung der Zellen im Raum „korrigiert“, so würde das folgende GFO-Modell auch auf Zellen angesetzt werden, die mutmaßlich keine Zellen von Substrat 3 sind. Da für Substratklassen spezifische GFO-Modelle existieren (7.1), würde ein ungeeignetes Modell auf die durch Filterung entstandene Substratklasse angewendet werden, was zu unplausiblen GFO-Klassen führen könnte. Deshalb sollte Filterung bzw. Verminderung der Streuung erst am Schluß der Modellierungszweige stattfinden (7.7.1).

7.2.8 Exkurs: Diskrepanz zwischen Reklassifikations- und Validierungsergebnis

An Beispielen hat sich gezeigt, dass die *error rate* bei Reklassifikation zuweilen gering und das Modell somit positiv zu beurteilen ist, aber die Übertragung des Modells auf das Validierungsgebiet weniger zufriedenstellt. Gründe dafür können sein:

- 1 Geomorphologische Verhältnisse sind unterschiedlich und das Modell ist deshalb bedingt geeignet.
- 2 Geomorphologische Verhältnisse sind vergleichbar, aber wurden von Kartierern unterschiedlich beurteilt. In diesem Fall kann nur geringe Übereinstimmung gefunden werden.
- 3a Die Basishöhendaten der Kartierung und Modellierung sind unterschiedlich.
- 3b Durch das geschachtelte Modellierungsvorgehen sind die Grundlagen nicht absolut vergleichbar.

Ad 1 und 2: Die Modelle werden den Gegebenheiten nicht gerecht.

Ad 3a:

Der Vergleich Karte-Modell kann bei ungleichen zugrundeliegenden Höhenmodellen unangebracht sein:

- Kartierung: TK25, beruhend auf terrestrischer Preußischer Landesaufnahme, vergrößert auf 1:10.000 (wie auch in den meisten analogen Forsteinrichtungskarten)
- Modellierung: DHM5, beruhend auf DGK5 oder Luftbildauswertung.

Beide Grundlagen sind für den jeweiligen Zweck sicher geeignet und als „korrekt“ zu bezeichnen. Im Vergleich führen sie den Anwender allerdings zu stellenweise unterschiedlichen Ergebnissen, z.B. zu parallel gegeneinander versetzten Tälern.

Ad 3b:

Der Parametrisierungsdatensatz enthält nur die Substratklassen, für die ein aktuelles Teilmodell entworfen werden soll. Für das Validierungsgebiet werden demnach auch nur diese Substratklassen herangezogen, z.B. 3 und 7. Diese beiden Klassen sind aber im Validierungsgebiet modelliert und nicht kartiert. Hingegen sind die zugrundeliegenden Referenz-Substratklassen und Referenz-GFO-Klassen kartiert. Das GFO-Modell wird damit verglichen (Tab. 47). Somit beinhaltet der Vergleich kartierte GFO-Klassen, die nicht unbedingt in den modellierten Substraten 3 und 7 liegen, sondern im „Festgestein“ (2456). Im Verlauf der Modellierung (BFG) verringert sich die Vergleichbarkeit, weil mehr vorgeschaltete Klassen vorkommen, die ggf. bereits von der Referenz abweichen.

Tab. 47: Vergleichbarkeit von Modellierungsergebnissen im Validierungsgebiet je nach Standortkomponente bei mehrstufigem, verschachteltem Vorgehen.

Parametrisierungsgebiet		Validierungsgebiet		Validierungsgebiet
Modellaufstellung		Modellanwendung	Vergleichbarkeit	Vergleichs-Referenz
SUB kartiert	➔	SUB modelliert, darin	← ja →	SUB kartiert, darin
GFO kartiert	➔	GFO modelliert, darin	← geringer →	GFO kartiert, darin
BFG kartiert	➔	BFG modelliert	← sehr gering →	BFG kartiert

Der GFO-Vergleich wäre nur dann „spiegelbildlich“ korrekt, wenn die Substratmodellierung zuvor genau die gleiche Substratverteilung wie die Kartierung hervorgebracht hätte.

Auch hier zeigt sich wieder, welche große Bedeutung die vorangehenden Schritte für die folgenden haben: Die Substratmodellierung ist auch für die Wasserhaushaltsmodellierung von Bedeutung.

Da quantitative Vergleiche mit der kartierten Referenz in Form von Kongruenz und absoluter Ausdehnung wegen des verschachtelten Vorgehens wenig aussagekräftig sind, muss die Modelleignung vornehmlich anhand des Gesamteindrucks der Klassenverteilung im Raum entschieden werden. Trotzdem wird ähnlich wie bei der Modellierung der Lagerungsklassen (Tab. 43) abschließend in diesem Kapitel eine quantitative Gegenüberstellung durchgeführt (Tab. 57).

7.2.9 Zusatzmodul 2: GFO-Klasse „Rücken“ und „schmales Tal“ basierend auf Strukturinformation

Neben den flächig vorhandenen Höhendaten gehört zu der Reliefinformation, die durch das LGN geliefert werden kann, die sog. Strukturinformation (5.2). „Das DGM 5 wird aus Basis-Höhendaten unter Berücksichtigung geomorphologisch prägnanter Informationen wie Gerippelinien und Geländekanten in einer standardmäßigen Gitterweite von 12,5 m x 12,5 m gerechnet. Die Geomorphologie-Informationen sind wesentliche Bestandteile des DGM 5.“ (www.lgn.de 20.06.01).

Die DGM5-Erstellung beruht auf zwei Basisdatentypen: Luftbild und/oder DGK5. Im ersten Fall „... sind in Kontaktabzügen der Luftbilder bei stereoskopischer Betrachtung alle wesentlichen

Geomorphologiedaten ... zu markieren ...“, danach erfolgt eine „linien-/punktförmige Messung der Geomorphologiedaten ...“ und schließlich ein Vergleich beider Arbeitsschritte (WASHAUSEN 1992:183f). Dieses Verfahren wurde von Topographen durchgeführt, aber es ist offenbar subjektiv. Es konnte allerdings nur subjektiv und manuell gearbeitet werden, weil eine digitale automatisierte Herleitung der „Geomorphologiedaten“ auf einem Modell beruhen müßte, das nicht bestand oder besteht.

Im zweiten Fall, der Nutzung von Höhenlinien von DGK5-Blättern, erfolgt eine „Einarbeitung der wesentlichen Geomorphologiedaten (Gerippllinien, Bruchkanten, markante Geländepunkte), dabei auch Verwendung von Höheninformationen aus dem Grundriß (z.B. Böschungen)“ (WASHAUSEN 1992:187).

In Erläuterungen einer DGM5-Datenlieferung des LGN mit dem Titel „Verschlüsselung und Darstellung von originären Höhendaten zur ATKIS-DGM5-Herstellung/Fortführung“ (Stand 01.03.93) heisst es:

Schlüsselzahl	Punktart	Interpolationspunkt
61	Anfangs/Endpunkt einer Gerippllinie	ja
62	Zwischenpunkt einer Gerippllinie	ja
81	Anfangs/Endpunkt einer Kante	ja
82	Zwischenpunkt einer Kante	ja

Mit Hilfe derartiger Punkte wird das DGM5 erstellt, d.h. berechnet (vgl. LEHMEIER 1991:77ff). DGM5-Daten gehören dem ATKIS-Datenbestand der Bundesländer an. Auch WASHAUSEN (1992:189) spricht von einer Integration der DGM5-Daten in das DLM25. Insofern werden sie auch im ATKIS-Objektartenkatalog (ADV 1998, Stand 15.02.98) aufgeführt:

Objektbereich 6000 Relief, Objektgruppe 6100 Digitales Geländehöhenmodell (DGM)

Objektart 6103 Geländelinie

Art der Geländelinie: 1000 Gerippllinie, 1001 Rückenlinie, 1002 Muldenlinie.

Für die Anwendung im Rahmen dieser Arbeit ist die Lage und Dichte der Gerippllinien, deren Differenzierung in Rücken- oder Muldenlinie und deren Herleitung bedeutsam. Die Kanten stellen weitgehend anthropogene Geländemerkmale geringer Ausdehnung wie die Ober- und Unterkante von Böschungen ehemaliger Hohlwege oder aktueller Wege dar. Dies stellte sich bei der Betrachtung ihrer Position im Gelände und anhand der digitalen Datenbasis (Abteilungen, Höhenlinien, Gerippllinien) des Validierungsgebietes heraus. Ihr Vorhandensein ist kein Indiz für die bodenkundlichen Prozesse, die der Standort durchlaufen hat. Deshalb wurden sie nicht zur Standortsherleitung verwendet.

Die Qualitätsstufen (Stufe 1 und 2, Approximation bis zu |0,5|m bzw. mittlere Abweichung 1,5 m) des DGM5 in Niedersachsen⁹ sind insofern für die GFO- und BFG-Modellierung von Bedeutung, als dass für sie separate Sets von Gerippllinien erstellt wurden. Diese mußten zusammengeführt werden. In Abb. 53 und Tab. 48 sind die Basisdaten Höhe und Struktur zusammengestellt (vgl. 5.2.1).

Höhen- und Strukturinformation der beiden Qualitätsstufen 1 und 2 liegen in einem Blatt ggf. gemischt vor (rote und grüne Linien).

⁹ Die Genauigkeitsangaben sind nicht vergleichbar: Stufe 1 wird durch maximale Abweichungen definiert, Stufe 2 hingegen durch mittlere Abweichungen. D.h. Stufe 2 enthält auch größere Werte als 1,5 m.

Tab. 48: Kombination von Strukturdaten (Gerippllinien, primär aus Punkten aufgebaut) und Höhendaten. (Primärdaten sind Punkte im 12,5x12,5 m-Abstand) je nach Qualitätsstufe. 60, 260 ~ Kodierung in Rohdaten des LGN

Struktur	Höhe	Qualitätsstufe 1	Qualitätsstufe 2, ersetzt durch DHM25
Qualitätsstufe 1 (60)		x	-
Qualitätsstufe 2 (260)		-	x

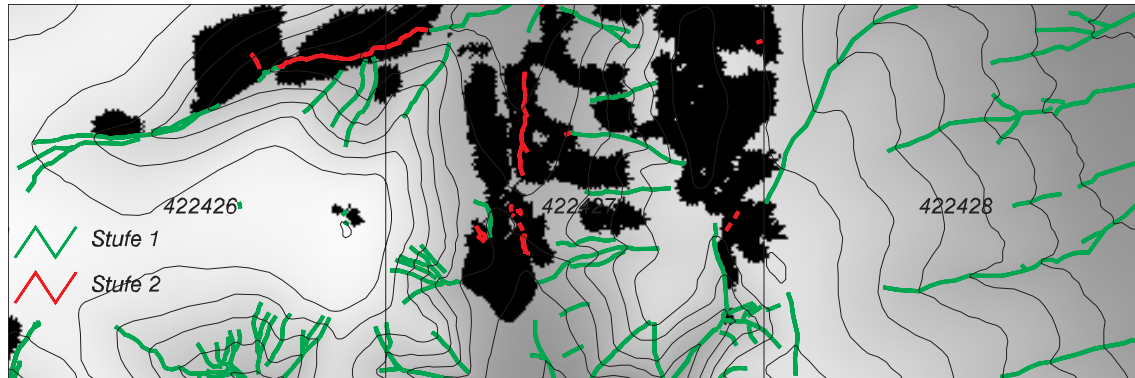


Abb. 53: Strukturdaten (Gerippllinien) und Höhendaten des DHM5 (Zellen 12,5x12,5 m) in drei DGK5-Blättern. Höhendaten: grau ~ Qualitätsstufe 1, schwarz ~ Stufe 2, ersetzt durch DHM25. 20 m Äquidistanz. Maßstab 1:40.000. Ausschnitt 3548000 5730000 3554000 5732000.

Die Trennung der Stufen erfolgt nicht blattweise (SCHÖNEMEIER 2001, mündl.), sondern elementweise. Flächenhaft gerechnete Höhenpunkte und gezeichnete Strukturlinien, die später mit gemessenen Höhenwerten belegt werden, sind die Elemente der Höhendatenbasis.

Abb. 54 zeigt die unterschiedlich dichte Verteilung von analog erstellten Gerippllinien der zusammengeführten Qualitätsstufen 1 und 2, die anscheinend mit den neun Blattschnitten der DGK5 zusammenhängt. Eine übergeordnete Frage vor Nutzung der Gerippllinien ist, ob diese Linien die Verhältnisse in den einzelnen Blättern proportional zur Zergliederung des Reliefs, das sie beschreiben sollen, wiedergeben: Gerippllinien sind subjektiv analog produziert worden. Insofern könnten blattschnittweise unterschiedliche Wertungen vorgenommen worden sein.

Zur Prüfung der Vergleichbarkeit der Einzelblätter wurde anhand der aus Höhendaten abgeleiteten Informationslagen (5.2.3) eine solche neue Informationslage erstellt, die linienhaft potenzielle Gerippllinien verdeutlicht. Regelhaft wurden Zellen ausgewiesen, die

- Einzugsgebiete $>50.000 \text{ m}^2$ aufweisen, was den Muldenlinien entsprechen sollte.
- mit einem inversen Höhenmodell berechnete Einzugsgebiete $>50.000 \text{ m}^2$ aufweisen, bei der Horizontalwölbung Werte >0.4 (konvex) und bei der Vertikalwölbung Werte <0.1 (nicht deutlich konkav) aufweisen, was den Rückenlinien entsprechen sollte.

Die Zellen der Klassen wurden zusammengeführt, da auch die analogen Gerippllinien der Strukturdaten keine Unterscheidung der beiden Klassen „Rücken- und Muldenlinie“ ausweisen. Beide Datensätze sind subjektiv entstanden; somit stellt auch der digital erstellte Vergleichsdatensatz keine Referenz im Sinn von „Messwerten“ dar. Da die (subjektiven) Kriterien der analogen Erstellung unbekannt sind, können sie hier schwerlich digital nachgebildet werden. Gerade weil die Vermutung besteht, dass Gerippllinien uneinheitlich entstanden sind, sollte nicht statistisch z.B. per Diskriminanzanalyse herausgefunden

werden, welche „Variablen“ und Schwellenwerte zu ihrer Entstehung beitragen. Eine Referenz sollte stattdessen unabhängig von der Kartierung regelhaft erzeugt werden.

Die zuvor genannten Informationslagen könnten somit auch durch andere ersetzt werden, die es aber erlauben, die Linienstruktur in konvexen und konkaven Bereichen in etwa nachzuzeichnen.

Das erstellte digitale Set enthält für 48 DGK5-Blätter gleichartig erstellte potenzielle Geripplinien, was für das analoge Set fraglich ist. Bei einem offensichtlich Zusammenhang der Zellenanzahl (~ Geripplinienlänge) in beiden Datensätzen könnte man davon ausgehen, dass bei der analogen Erstellung der Geripplinien weitgehend objektiv gearbeitet wurde, dass also zwischen den Blättern keine Heterogenität vorliegt. Dies gilt natürlich nur dann, wenn man voraussetzt, dass der digital erstellte Datensatz etwas den analogen Geripplinien Vergleichbares darstellt. Für diejenigen der 48 DGK5-Blätter, die weit von einer linearen bzw. logarithmischen Ausgleichsgeraden abweichen, ist anhand des Höhenlinienbildes und geomorphologischer Parameter einzuschätzen, ob Geripplinien einheitlich eingezeichnet worden sind, oder ob unerwünschte Heterogenität vorliegt (Abb. 54, Abb. 55).

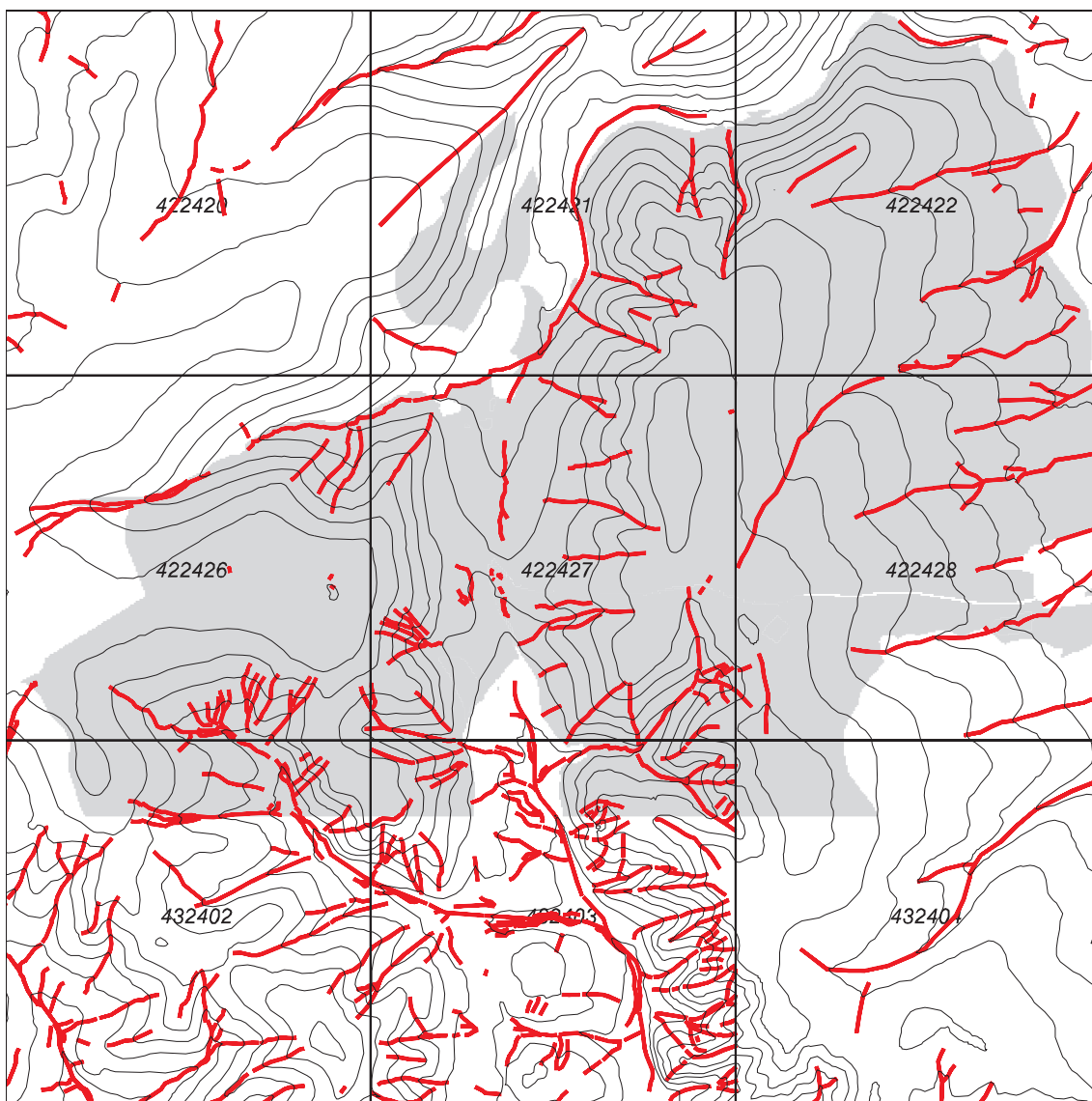


Abb. 54: Analog erstellte Geripplinien in neun DGK5-Blättern im Bereich des Validierungsgebietes. Grau ~ Geripplinien, Maßstab 1:40.000. Ausschnitt 3548000 5728000 3554000 5734000. 20 m Aquidistanz.

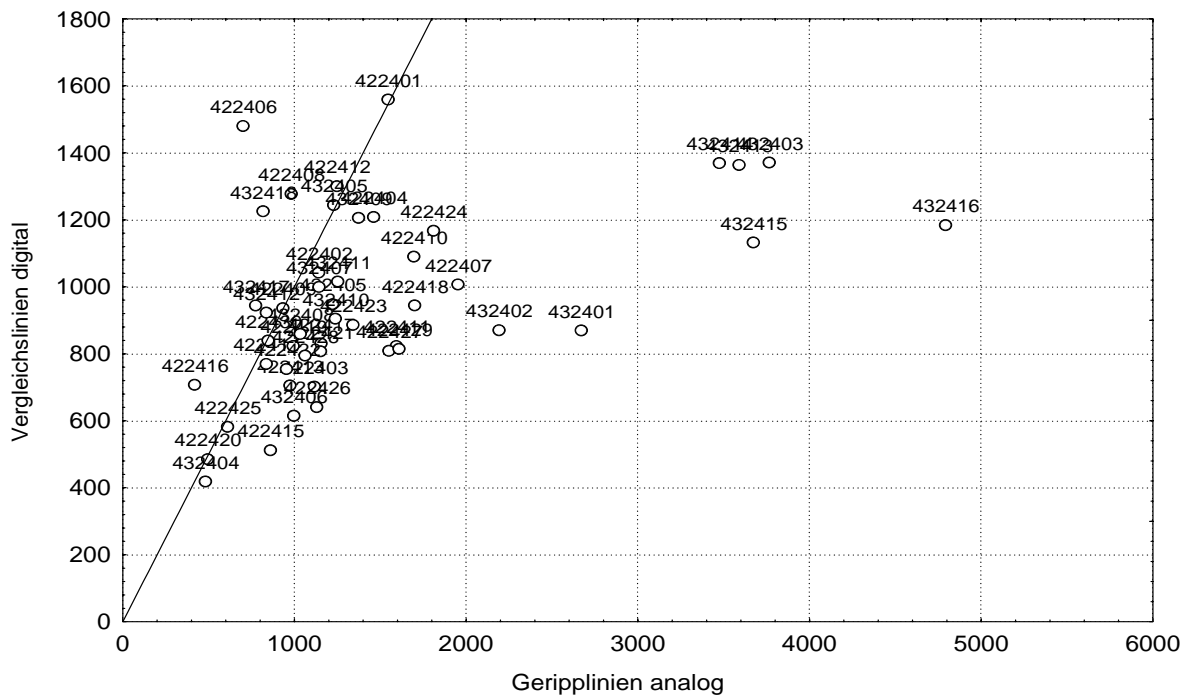


Abb. 55: Analog erstellte Geripplinien und digital erstellte Vergleichslinien von 48 DGK5-Blättern im Bereich des Validierungsgebietes und seiner Umgebung. Einheit: Zellenanzahl der Geripplinien.

Links von der Geraden $x = y$ finden sich DGK5-Blätter, in denen weniger Geripplinien kartiert als digital vorgegeben wurden, rechts ist es umgekehrt. Wie anzunehmen sind die Geripplinien im Prinzip einheitlich erstellt worden, wie die Nähe der meisten Fälle zu der Geraden verdeutlicht. Allerdings scheinen Abweichungen in Form von über- und unterproportionalen Kartierungen vorzukommen.

- 432413, 432414, 432403, 432615, 432616, 432401, 432402: Analoge Geripplinien sind sehr häufig bzw. lang, digital erstellte relativ selten bzw. kurz.
- 422406, 432418, 422408, 422416: Analoge Geripplinien sind selten bzw. kurz, digital erstellte relativ häufig bzw. lang.

Geripplinien sind demnach nicht ohne weiteres geeignet, als Indikator für Rücken und Täler, also GFO- und BFG-Klassen, zu dienen. Deshalb und aus noch zu erläuternden standörtlichen Gründen wurden sie einer reduzierenden Bewertung unterzogen. Unter bestimmten, regelhaft abzu prüfenden Verhältnissen sind sie eliminiert worden. Das Gegenteil, eine zusätzliche Ausweisung, ist hingegen nicht möglich.

Die Strukturdaten unterscheiden Mulden- und Rückenlinien selbst nicht (SCHÖNEMEIER 2001, mündl.). Dies steht den Angaben des ATKIS-Objektartenkatalogs, in dem separate Codes vorgegeben sind, entgegen. Somit war es nötig, den Linien einen standörtlich adäquaten Status zuzuordnen. Zu diesem Zweck wurden folgende Schritte formuliert:

- 1 Umsetzung der Linien in 10x10 m-Zellen.
- 2 Berechnung der mittleren Horizontalwölbung (5.2.3.2, PLAF) in einer 3x3-Zellen-Umgebung.

3 Regelanwendung:

Wenn Horizontalwölbung größer als 0,2 (~divergierend) und Exponiertheit EXP8 größer als 30 (5.2.4.1), dann Rücken.

Wenn Wölbung kleiner als 0,0 (~flach bis konvergierend), dann Tal (Muldenlinie).

Zellen anderer Wertekombinationen entfallen in Hinblick auf eine zu modellierende GFO-Klasse.

4 Einbau der Ergebnisklassen in das Ergebnis der Diskriminanzmodelle.

Das Ergebnis sind Zellen, die als „Ergänzungswerte“ vorangegangener Klassifikationen Verwendung finden sollen. Deutlich werden hier die Zellen potenzieller Rückenlinien reduziert, was standörtlich gerechtfertigt ist, denn sonst reichen derartige Linien zu häufig und zu weitgehend in untere Reliefpositionen. Muldenlinien dürfen nach dieser Einschränkung nicht solche Zellen sein, deren nächste Umgebung plankonvex ist. Dies sind die standörtlichen Gründe der Geripplinienreduzierung.

Praktisch treffen die so abgeleiteten linienhaften Rücken und Täler (~Mulden) auf alle diskriminanzanalytisch hergeleiteten GFO-Klassen. Um Homogenität in der Klassenkonstellation beizubehalten, wurden die Ergänzungswerte nur in dem zuvor ausgewiesenen Hangbereich (GFO 1725) eingebaut (Modellnummer MN 19). Dies stellt eine weitere Reduzierung der Geripplinien in Relation zu den primären Daten dar. Der Hangbereich wird nun etwas stärker strukturiert (Abb. 56). Die Abbildung zeigt einige Diskussionspunkte in einem 3,0x2,5 km großen Ausschnitt im Maßstab 1:20.000. Konform zu den linienhaften Primärdaten sind auch die Ergänzungswerte linienhaft angeordnet. An Punkt T= ist zu sehen, wie das DA-Modell und die Ergänzungsgeripplinien gleichsinnig verlaufen, wo also keine Hangzelle durch eine Talzelle ersetzt werden müsste, weil bereits ein Tal modelliert wurde. Darüber hinaus ist die umgebende Klasse hier „Ebene“, in der ohnehin kein Ersatz durch Geripplinien vorkommen sollte. Auch erlaubt die auf die Geripplinienzellen angewendete Schwellenwertanwendung keine Ausweisung als Tal, weil die Eintiefung nicht markant genug ist. An Punkt Te erlaubt die Schwellenwertanwendung zwar eine Ausweisung der Geripplinien als Tal, aber auch hier findet dies nicht statt, weil eine Ebene diese Zellen aufbaut.

Bei der GFO-Zielklasse Tal_{schmal} ist die Linienhaftigkeit im Vergleich mit zuvor ausgewiesenen Talbereichen auffällig (Punkt T), da diese Klasse diskriminanzanalytisch meistens ausladender ist. Es fallen auch die Ergänzungswerte der „Rücken“ auf (Rg), da solche Bereiche sonst meistens kompakter sind (Punkt Rd). An Punkt R= liegen Geripplinien und modellierte Rücken sehr ähnlich; nördlich anschließend finden sich Geripplinien, die aber nicht den Schwellenwerten für Rücken genügen, so dass sie keine Ergänzung dieser Klassen darstellen.

Das DA-Modell produziert mancherorts Unterbrechungen in Talverläufen (Punkt U1). Gehen dort z.B. muldige Täler (BFG 4 der GFO-Klasse 12346) hangabwärts betrachtet in Hangbereiche über, um später wieder als Talabschnitt in Erscheinung zu treten, wird die Unterbrechung durch die Geripplinien des DHM5 geschlossen, was eines der Aufgaben dieses Zusatzmoduls ist.

In gestreckten, schwach geneigten Hangpartien (U2, U3) findet sich aber auch das „untere“ Ende eines hangaufwärtigen Talabschnittes: Das Gelände ist hier nicht so markant eingetieft, dass es als Geripplinie (Muldenlinie) erscheinen würde. An dererlei Orten müsste im Gelände geprüft werden, ob z.B. ein Bach oder eine periodisch wasserführende Rinne existiert.

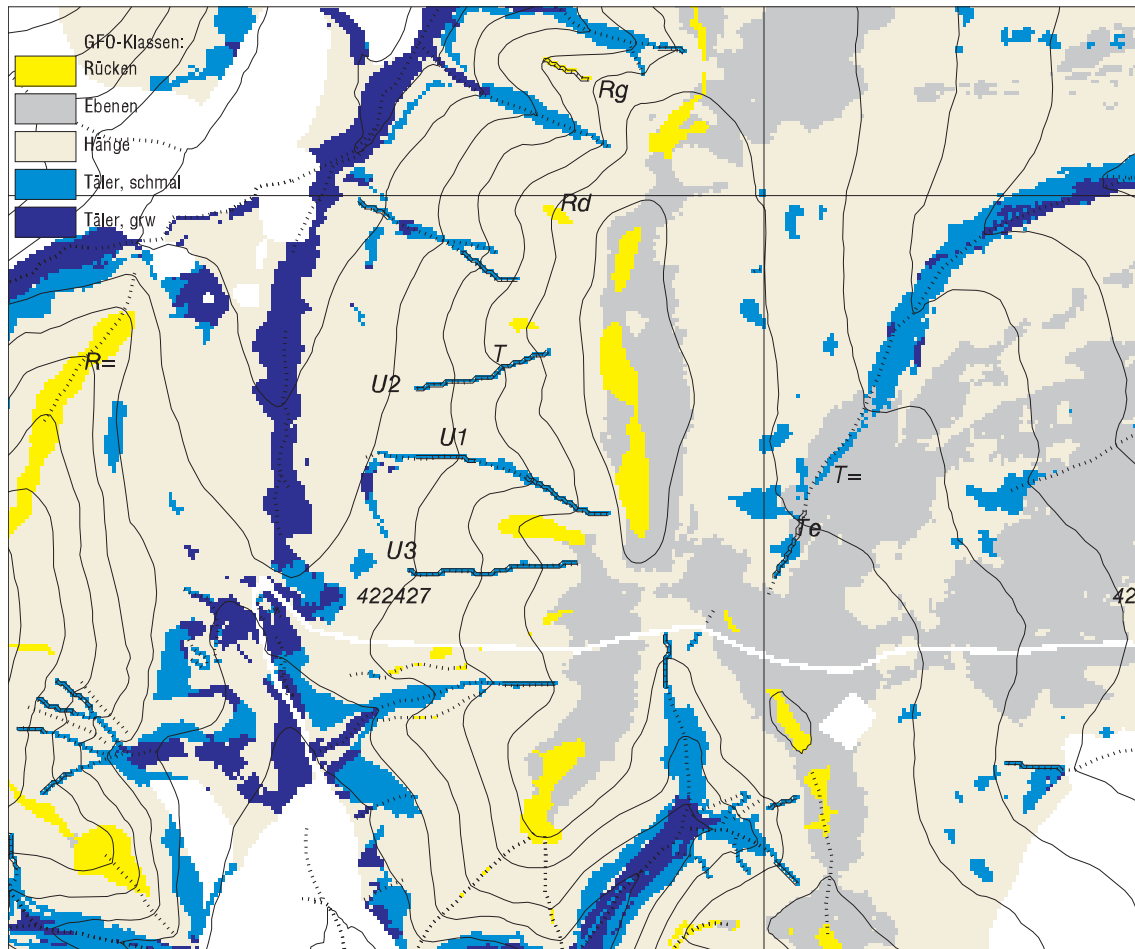


Abb. 56: Modellierte GFO-Klassen, primäre und verwendete Geripplines.
 Gestrichelt ~ primär, umrahmt ~ verwendet. 20 m Äquidistanz.
 Ausschnitt 3550000 5730000 3553000 5732500, Validierungsgebiet. Maßstab 1:20.000.

Abschließend stellt sich die Frage, warum anstatt der analog erstellten Geripplines des LGN nicht das Vergleichsset benutzt wird. Der Grund liegt darin, dass jede zusätzliche Information, soweit sie das Gesamtmodell ergänzt und nicht verschlechtert, herangezogen werden sollte. Dies gilt auch für die Geripplines, die allerdings nur in reduzierter Form eingebaut werden. Eine gleichzeitige Nutzung beider Geripplinesinformationen (LGN und Vergleichsset) kommt nicht in Betracht, da dabei in Bereichen, in denen beide Linienverläufe zwar ähnlich, aber nicht gleich sind, unübersichtliche Klassenausweisungen entstehen würden. Davon abgesehen wird die reliefbezogene Ausweisung der beiden GFO-Zielklassen Rücken und Tal_{schmal} ohnehin weitgehend per DA erreicht, was durch die analog erstellten Geripplines lediglich ergänzt werden sollte.

7.2.10 GFO-Klasse „Stauwasserstandorte“ innerhalb von Hängen und Ebenen

Stauwasservorkommen

Wie stellen sich Stauwasservorkommen (STW) im allgemeinen dar? Der AKS (1996:122) definiert „Stauwasser ist auf einem oberflächennahen Staukörper [...] zeitweise vorhandenes, geringmächtiges, spannungsfreies Bodenwasser, das sich seitlich wenig bewegt und in der Vegetationszeit häufig +vollständig verbraucht wird. Es kann bei bestimmten Bodenaufbau in fast jeder Höhen- und Reliefposition großflächig auftreten ...“. Einerseits wird in dieser Definition der Reliefbezug zurückgenommen, andererseits indirekt mit dem Hinweis auf geringe Bewegung des Wassers auf Relieffaktoren gedeutet.

Stauwasservorkommen „... können auf Verebnungen und am Unterhang hydromorpher Böden entstehen, wenn dichtere, löblehmdominierte Solifluktlagen oder Tonsteine das Hang- oder Sickerwasser stauen.“ (EITEL 1999:87 im Abschnitt „Deckschichten und Böden in den ... Schichtstufenlandschaften in Deutschland“). Auf die Schwierigkeit der Kartierung von Stauwasserstandorten verweist v. ZEJSCHWITZ (1984:31): Da die einzelnen Substrate (hier Löss, Substrat 3, Schiefergebirgslehme, Substrat 2) unterschiedlich gute Zeichner für Vernässungsmerkmale wären, sei es angebracht, die kartierten Flächen zu verschiedenen Jahreszeiten zu beurteilen. Auch WACHTER (2002, mündl.) verweist auf Kartierungsschwierigkeiten: Hydromorphe Merkmale seien schwer als reliktsch oder rezent (aktuell geprägt) einzuschätzen.

Besonderheiten der Stauwasserdefinition nach GÖS und Probleme der Datenbasisstruktur

- „Wo liegen Stauwasserbereiche im Gelände vor?“
- „Wo liegen Stauwasserbereiche laut Kartierung vor?“
- „Wo sind Stauwasserbereiche laut GÖS erlaubt?“

Die erste Frage ist die übergeordnete, die eigentlich zu beantworten ist. Die Beantwortungen der zweiten und dritten Frage sind nicht in Einklang zu bringen und deshalb fällt die Beantwortung der ersten Frage schwer. Dies soll im folgenden aufgezeigt werden. In diesem Abschnitt ist vornehmlich die **Strukturierung der Datenbasis**, die diese Fragen erlaubt zu beantworten, zu diskutieren. Die Umsetzung geschieht in Abschnitt 7.3.2.

Stauwasserbereiche sind zu Anfang der GFO-Modellierung ausgeklammert worden. Sie liegen gewöhnlich in Bereichen, die entweder „Ebenen“ oder „Hänge“ sind, wenn die Klasse „Stauwasser“ laut GÖS nicht verlangt würde. Der Schätzrahmen definiert diese GFO-Klasse als „Stauwasserstandorte in ebener bis schwach geneigter Lage“. Steilhangbereiche würden unter die „Hänge“ fallen. Insofern war es sinnvoll, zuerst nur fünf statt maximal sieben GFO-Klassen nach einheitlichem Verfahren zu modellieren. Der Begriff „Stauwasser“ beschreibt den Wasserhaushalt als solchen und nicht die Form des Reliefs wie es die anderen GFO-Klassen z.B. in dem Begriff „Rücken“ tun. Schon dadurch wird das Besondere der GFO-Klasse Stauwasser deutlich. Der Wasserhaushalt im engeren Sinn wird erst in der Standortkomponente BFG (vgl. Tab. 5) verschlüsselt.

Alle GÖS-Definitionen der genannten BFG-Klassen sind vor dem Hintergrund einer möglichen, sinnvollen Zusammenfassung zu prüfen. Eine Modellierung der aggregierenden GFO-Klasse „Stauwasser“ (BFG 12-15) kann oder muss eventuell übersprungen und stattdessen die einzelnen BFG-Stauwasserklassen im Gesamtbereich der Hänge und Ebenen modelliert werden. Denn jede BFG-Klasse gehört zwangsläufig zu einer GFO-Klasse und auf jeder Zelle einer GFO-Klasse wurde auch eine BFG-Klasse kartiert. Insofern besteht die Freiheit, das Ziel der detaillierteren BFG-Modellierung direkt anzugehen.

Es kann im übrigen in der aktuellen Situation mit Modellen, die sich nur auf die bereits vorhandenen Klassen „Ebene“ und „Hang“ beziehen, gearbeitet werden, weil die GFO-Klassen Tal_{schmal} , Tal_{grw} und Rücken nahezu keine STW-Bereiche aufweisen.

Stauwasservorkommen treten graduell abgestuft in vier Teilkodierungen der Standortkennzahl auf. Demnach gibt folgende Zusammenstellung -gegliedert nur nach Wasserhaushalt und Substrat / Lagerung- kein vollständiges Bild der STW-Vorkommen, sondern nur einen ersten Überblick.

Tab. 49: Stauwasserbeeinflusste Standorte im Modellierungsgebiet.

	STW	SUBLAG	
		ja #	nein
WH	ja*	402 ha	815 ha
	nein	315 ha	7313 ha

* nach BFG 12, 13, 14, 15, 17 und 21 stauwasserbeeinflusst

nach SUBLAG 24, 34, 65 und 74 stauwasserbeeinflusst

Etwa 1500 von 8850 ha sind mehr oder minder stauwasserbeeinflusst. Dies trifft nur auf 27 % der Fläche nach Wasserhaushalt und zugleich nach Lagerung zu. Auf mehr als 50 % ist Stauwasser wie zu erwarten nur in der Wasserhaushaltskomponente kodiert und auf etwa 21 % nur in der Lagerungskomponente.

Problemfelder:

Stauwasserklassen der Hänge:

BFG 17 und 21 gehören zu der GFO-Klasse der Hänge, weisen aber ebenso wie 12 bis 15 Stauwassermerkmale auf (vgl. Tabelle im Anhang). Es besteht das Problem der konzeptionellen Bindung dieser Klassen an die Klassen 12-15, weil 17 und 21 nur im Hang, die anderen aber in allen GFO-Bereichen erlaubt sind (vgl. auch „Vorgabe von Neigungsschwellenwerten“).

Stauwassermerkmale der Lagerungsklassen:

Ein weiteres modelltechnisches Problem bei der Strukturierung der Datenbasis ist, dass der GÖS Stauwasser auch in der Komponente Substrat / Lagerung kodiert und nicht ausschließlich in der Wasserhaushaltskomponente GFO bzw. BFG:

- 14 ... tonigen Fließerden (in der Regel stauend)
- 24 ... über Ton (in der Regel stauend) ...
- 34 ... mit ... wesentlicher Beeinflussung durch einen ausgeprägten, meist tonigen Staukörper.
- 48 ... auch über ... und tongründigen Böden mit und ohne Stauwirkung.
- 65 ... über undurchlässigem Grundgestein (hier nur indirekt)
- 74 ... über ..., deutlich stauendem Grundgestein oder mit stauenden Zwischenlagen

Die Lagerungszahlen implizieren also STW-Phänomene in unterschiedlicher Intensität. Nur Lagerung 34 und 74 erzwingen nach dieser Formulierung STW-Vorkommen. Andere wie z.B. Lagerung 24 erlauben STW nur bzw. legen den Schluß auf STW nahe. Kartiert wurde bei Lagerung 34 der BFG-Code 13, 14, 17, 18 und 21. BFG 13 und 14 sind explizit STW-Codes, 17 und 21 stehen für auch stauwasserbeeinflusste Hänge, nur 18 weicht inhaltlich etwas ab, da es sich nur um „hangfrischere“ Standorte handelt.

Lagerung 74 kommt in der Bergland-Datenbasis nicht vor. In dem Harzdatenpool wird Lagerung 74 mit dem Grundwasserstandort BFG 7 bei nur vier Vorkommen kodiert, was der Einschränkung der Lagerungsklasse 74 auf STW sogar widerspricht.

Bei der Substratklasse 5, Tone, wird Stauwasser nicht erwähnt, ist aber bei Lagerung 51 bis 54 wahrscheinlich. Bei 55 und 56, den Bröckeltonen, heisst es „... + - ohne undurchlässige Stauschichten“.

Dies sind Aussagen des GÖS. Die Datenbasis zeigt (Tab. 50), dass mit manchen Lagerungsklassen Stauwasser assoziiert wird.

Tab. 50: Kombination zweier Lagerungsklassen und stauwasserbeeinflusster BFG-Klassen.
Anteile und Verhältniswerte.

Anzahl Polygone		60	102	14	.	13	81	
	SUBLAG / BFG	13	14	15	.	17	21	
763	24	26	15	2	.	1	9	Flächen - %
31	34	9	30	0	.	14	14	Flächen - %
763	24	5,6	1,9	14,3	.	3,8	9,3	Verhältnis *
31	34	1,9	4,0	-	.	35,3	14,9	Verhältnis *

* Verhältnis = tatsächliche Anzahl Zellen / erwartete Anzahl der Zellen bei Unabhängigkeit
(*frequency / expected*) einer Kombination SUBLAG - BFG. (Vgl. Tab. 8).

Lagerung 24 entfällt überproportional häufig auf BFG 13, 14 und 15 aber auch auf 21, die auch wechsel- und staufeuchten Standorte der Sonnhänge.

Lagerung 34 entfällt ebenso häufig auf 13 und 14 und noch ausgeprägter auf die wechsel- und staufeuchten BFG-Klassen der Hänge (17, 21).

Diese Werte sind allerdings zurückhaltend zu interpretieren, weil sie zum Teil auf wenigen Polygonen der Klassen basieren: BFG 15 und 17 kommen nur 14 bzw. 13 mal in den Berglanddaten vor.

Dass mit dem Lagerungscode eher etwas bodenartenbezogenes assoziiert wird und mit dem Wasserhaushaltscode (vor allem mit GFO) eher etwas reliefbezogenes, darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Faktoren der Stauwasservorkommen dieselben sind, unabhängig davon, ob dieses Phänomen in der WH- oder Lagerungskodierung dokumentiert wird. Auch dort, wo Stauwasser nur in der Lagerung kodiert vorkommt, kann dieses Phänomen z.T. geomorphologisch bedingt sein und auch dort, wo es nur in Wasserhaushalt kodiert vorkommt, kann dieses Phänomen z.T. durch Substrateigenschaften bedingt sein. Geomorphologische und substratbezogene Variablen sollten also zusammen benutzt werden. Beide Standortkomponenten -WH und SUBLAG- aber zu koppeln und gemeinsame Codes, also gewissermaßen neue Klassen, daraus zu erstellen, ist wegen der geringen Datenbasis und damit nicht ausgeglichenen Klassenstruktur nicht möglich.

Die Herleitung z.B. der Substrat / Lagerungsklasse 24 und 34 in Abschnitt 7.1.5 legte die STW-prädestinierten Bereiche zum Teil fest. Es ergibt sich Stauwasser aber nicht zwangsläufig in bestimmten kartierten bzw. modellierten Lagerungsklassen. Auch wurde in 7.1.4 bzw. 7.1.5 festgelegt, innerhalb modellierter Lagerungsbereiche keine weitere, gliedernde Modellierung zu betreiben, weil bereits die Lagerungsklassenherleitung mit Unsicherheiten behaftet ist und manche Klassen in der Datenbasis zu selten sind. Die Ausweisung bestimmter Lagerungsklassen in einem separaten Modellierungszweig sollte nur als Hinweis auf eine Stauwassergefährdung aufgefaßt werden. Hier wird der Zweig der eigentlichen Wasserhaushaltsmodellierung um Stauwasser erweitert.

Stauwassermerkmale der Substratklassen:

Weiter stellt sich die Frage, inwiefern Teilmodelle je nach Substratklasse formuliert werden sollten? STW-Anteile in den einzelnen Substraten verteilen sich wie folgt (STW nach BFG-Kodierung, nicht nach SUBLAG-Kodierung).

Tab. 51: Anteil der GFO-Stauwasserklasse an den Substratklassen des Harzes und des Berglandes.

Substrat	1	2	3	4	5	6	7
Harz, Fläche, ha	1872	60135	1040	1644	670	6597	2090
davon STW, %	2	1	13	5	28	4	1
Bergland, Fläche, ha	0	5963	2031	344	88	93	286
davon STW, %	0	8	29	0	24	0	0

- Harz:

Es zeigt sich, dass in der ausgedehnten Klasse der basenarmen Silikatgesteine (2) nur 1 % der Fläche von Stauwasser gekennzeichnet sind. Ähnliches gilt für die feimbodenärmsten Gesteine (1) und die Alluvien (7). Dies verwundert wegen des Konzepts des GÖS nicht. Größere STW-Prozentanteile treten hingegen innerhalb der Löss (3) und der Tone (5) auf, gefolgt von den Kalkgesteinen (4) und den basenreicheren Silikatgesteinen (6). Ein allgemeingültiges Modell, das aus Zellen aller Substratklassen abgeleitet würde und die mittlere, ungewichtete, prozentuale Häufigkeit der STW-Klasse als Grundlage nutzen würde, könnte so für den Bereich der Klasse 2 zu unpassenden Ergebnissen führen.

Da die absolute Fläche der STW-Bereiche innerhalb Substratklasse 2 immerhin knapp 500 ha ausmacht, bleibt zu fragen, ob sich diese Fläche auf wenige Lagerungsklassen beschränkt: Überproportional häufig ist STW auf Lagerung 24, was auch in Tab. 7 dargestellt wurde.

- Bergland:

Der Anteil in Substrat 5 ist mit 24 % ähnlich wie im Harz. Auffällig sind die höheren Werte bei Substratklasse 2 und 3, den basenarmen Silikatgesteinen und den Lössen. Möglicherweise sind die Anteile höher als im Harz, weil das Bergland nicht in dem Maße reliefiert ist und demnach mehr schwach geneigte Flächen mit verdichteten, stauwasserfördernden Deckschichten, in denen Tonverlagerung stattgefunden haben kann, die STW fördern, auftreten.

Die unterschiedlichen STW-Anteile in den sieben Substraten lassen darauf schließen, dass es günstig ist, spezifische Modelle aufzustellen. Hier aber ist nur möglich, zwischen „Festgestein“ (2456) und „Löß“ (3) zu differenzieren. Da in der Berglanddatenbasis die Substrate 2, 4 und 5 unterschiedliche STW-Anteile aufweisen (Tab. 51), müssten sie getrennt behandelt werden. Eine separate Bearbeitung der Substratklassen 5 und 4 ist aber wegen der geringen Datenmenge nicht durchführbar. So bleibt zu fragen, ob Standorte der Substratklassen 4 und 5 ausgeklammert oder zusammen mit Substrat 2 als „Festgesteinsbereich“ bearbeitet werden sollten (6 kommt nicht vor).

Stauwasservariante „s“:

Desweiteren kommt die Möglichkeit, STW in der Wasserhaushaltsvariante zu verschlüsseln (Variante „s“, vgl. 2.3.2.4) hinzu und STW damit nicht in der übergeordneten BFG-Kodierung zu verzeichnen, was ein weiteres modelltechnisches Problem ist. Darauf wird später eingegangen (7.3.2).

Vorgabe von Neigungsschwellenwerten:

Der GÖS nennt bei der Definition der Standorte bzw. bei der Grenzbereichsdefinition der jeweils ähnlichen Standorte, mit denen Verwechslungsgefahr besteht, bestimmte Vorgaben zur STW-Kartierung. In >10 % geneigten Bereichen, „an mäßig und stärker geneigten Standorten“, dürfte nur

STW-BFG 17 bzw. 21 auftreten. In den flacheren Bereichen, „in ebenen bis schwach geneigten Lagen“, dürfte nur STW-BFG 12-15 (Tab. 52) zu finden sein. Wenn -wie im GÖS definiert- keine kartierten oder modellierten Ebenen Neigung von $>10\%$ ausweisen würden, wären Teilmodelle zur Lösung des Gesamtproblems leichter zu formulieren.

Tab. 52: Mögliche BFG-Stauwasserklassen in GFO- und Neigungsbereichen laut GÖS 2000.

GFO	$<10\%$	$>10\%$
Hang	12 13 14 15	17 / 21
Ebene	12 13 14 15	-

Es gibt aber bestimmte Hindernisse: Etwa 35% der kartierten BFG-Klassen 17 und 21 weisen Neigung von weniger als 10% auf, etwa 17% der kartierten Ebenen Neigung von mehr als 10% ; darin liegt der Widerspruch. Da die Ebenen von den Hängen weder in der Kartierung noch im Modell mit Hilfe des 10% -Schwellenwertes der Neigung abgegrenzt waren, kann man nicht behaupten, dass innerhalb der Hänge nur die BFG-Klassen 17 und 21 und innerhalb der Ebenen nur die Klassen 12 bis 15 auftreten dürften. Wenn also mit Hilfe des Neigungsschwellenwertes argumentiert würde, könnte z.B. auf einem mit 8% schwach geneigten Hang kein STW-Standort (12-15) auftreten und umgekehrt auch kein STW-Standort auf einer Ebene, die 11% Neigung aufweist. Andererseits ist es abwegig, dass Ebenen solch hohe Neigung aufweisen sollten. Dies und der dargestellte Widerspruch werden noch dadurch betont, dass ab GÖS 1997 Ebenen maximal 5% Neigung aufweisen dürfen, in den GÖS 1988 - 1995 war kein solcher Wert genannt.

Widersinnig ist auch, dass nach GÖS die Klasse BFG 17 (bzw. 21) nur dort erlaubt ist, wo die Neigung $>10\%$ beträgt, aber diese STW-BFG-Klassen innerhalb der Hänge (!) genau dort zu erwarten sind, wo die Neigung gering, also $<10\%$, ist. Dies wird allerdings dadurch etwas abgemildert, dass die Klassen 12-15 in flachen Bereichen des Hanges möglich sind.

Das Problem besteht also darin, dass der 10% -Schwellenwert die STW-BFG-Klassen limitiert, aber keine Bedeutung für die GFO-Klassenmodellierung hat. Innerhalb bestimmter GFO-Klassen sind aber nur bestimmte BFG-Klassen erlaubt.

Wie ist das Problemgeflecht zu lösen ?

Das Datenmaterial muss gruppiert bzw. zerlegt werden. Damit ist zu erreichen, Widersprüche in Datenbasis und GÖS zu umschiffen bzw. deren Auswirkungen zu begrenzen. Denkbare Wege sind:

Weg 1: Eine Aufteilung der Datenbasis nach *Zeilen* der Tab. 52:

In GFO Hang: BFG 13 ($<10\%$ Neigung) gegen BFG 14 ($<10\%$) gegen BFG 17 (21) ($>10\%$)

In GFO Ebene: BFG 13 ($<10\%$ Neigung) gegen BFG 14 ($<10\%$)

Modellierte Ebenen weisen z.T. mehr als 10% Neigung auf. Demnach dürfen dort nur 17 (bzw. 21) als BFG modelliert werden. Da die beiden BFG-Klassen 17 und 21 aber keine Klassen der Ebenen, sondern ausschließlich der Hänge sind, werden sie bei der BFG-Modellierung in Ebenen nicht vorgesehen und die impliziert einen Fehler. Innerhalb modellierter Hänge gilt dies umgekehrt nicht, da alle BFG-Klassen 12-15 und 17 und 21 erlaubt sind. Allerdings könnte z.B. eine Klasse 13 in einem steileren Bereich des Hanges modelliert werden oder eine Klasse 17 (21) in einem flacheren Bereich. Es wird innerhalb einer Diskriminanzanalyse auch unter Einbeziehung der Variablen SLOF nicht möglich sein, bestimmte BFG-

Klassen nur dort zu modellieren, wo sie laut Neigungsvorgabe des GÖS erlaubt sind. Dies würde eine nachträgliche Übersteuerung im Sinn einer Korrektur nach sich ziehen. Leider können die Klassenwerte nicht einfach je nach Neigungswert ausgetauscht werden, da die Klassen 13 und 17 (21) etwas durchaus Unterschiedliches darstellen. Die Feststellung eines Fehlers ist aber ohne einen verbessernden Vorschlag wenig hilfreich. Deshalb muss ein Kompromiß gefunden werden: In der Modellierungsdatenbasis könnten die STW-BFG-Klassen so eingegrenzt werden, dass zumindest -trotz anderslautender Kartierung- der Modellierungsdatensatz den Neigungsschwellenwerten entspricht:

- BFG 12, 13, 14, 15 nur bei Neigung < 10 %
- BFG 17 und 21 nur bei Neigung > 10 %
- Terrestrische BFG nicht eingegrenzt

Argumente gegen diesen Ansatz bestehen: Bei einer Modellaufstellung in den GFO-Bereichen Hang (1725) und Ebene (911) ist es nicht gewährleistet, dass in dem Modellierungsdatensatz a oder b nur solche STW-Zellen vorkommen, die ohne die Existenz von STW-Klassen im Schätzrahmen Hang (a) oder Ebene (b) wären. Das heisst, es wird *nicht* geprüft, wo *innerhalb* der Hänge (a) oder *innerhalb* der Ebenen (b) Stauwasser vorkommt. BFG 12-15 sind weder explizit Wasserhaushaltsklassen der Hänge noch der Ebenen ! Es können also keine Datensätze generiert werden, die diese Frage beantworten lassen. Dies wäre aber von Interesse, da zuvor die GFO-Klassen Hang und Ebene modelliert wurden. Auch wenn man BFG 17 und 21 zuerst ausklammert oder zuerst den STW-Klassen 12-15 zuordnet, wird das Problem nicht gelöst. Weg 1 muss deshalb verworfen werden.

Weg 2: Eine Aufteilung der Datenbasis nach *Spalten* der Tab. 52:

Die Existenz der 10 %-Schwelle im GÖS legt nahe, anfangs die als Einheit aufzufassende Gesamtheit der Hänge und Ebenen nach der Neigung zu teilen und dann in diesen beiden Teilbereichen nur noch die „erlaubten“ STW-Klassen gegenüber den Nicht-STW-Klassen zu modellieren. Damit würde im Ergebnis eine Konformität zum Neigungsschwellenwert des GÖS erreicht, nicht aber zur Kombination aus GFO- und erlaubter BFG-Klasse. Dies würde eine deutliche Abweichung vom Gesamtkonzept darstellen. Es sieht vor, detailliertere Klassen innerhalb von höher aggregierten Räumen auszuweisen (6.1.4). Deshalb wird auch von diesem zweiten Weg abgesehen.

Weg 3: Da Weg 1 und 2 verworfen werden, kann bzw. muss der Bereich Ebene zuerst mit dem Bereich Hang zusammengefasst werden. Welche BFG-Klassen sind darin aber laut GÖS möglich ? Es sind die reinen STW-Klassen 12, 13, 14, 15 und die stauwasserbeeinflussten Hang-Klassen 17 bzw. 21. Sie werden laut GÖS über die zuvor beschriebenen Regularien definiert, was die genannten Probleme (Neigungsschwellen, GFO-Klassenbindung) birgt.

Zur Vereinfachung kann eingebracht werden BFG 17 und 21 als Einheit BFG 1721 aufzufassen, also eine von der geländeklimatischen Unterteilung in Schatt- und Sonnhang unabhängige Klasse zu verwenden. Desweiteren können 12 und 15 nicht modelliert werden, weil sie in zu geringem Maße in der Datenbasis vorkommen. Es verbleiben also 13 und 14 und 1721, drei Klassen, die im Bereich Ebene/Hang gegenüber dem großen Bereich der terrestrischen Klassen abzugrenzen sind. Somit sind in diesem Modellschritt insgesamt vier Klassen zu diskriminieren.

Eine Zusammenfassung zu einer Sammelklasse „Stauwasser“, die der Sammelklasse „terrestrisch“ gegenübersteht ist nicht angebracht, weil 13, 14 und 1721 wegen der weitgehenden Anwendung der 10 %-Neigungsschwelle und laut GÖS-Definition zu unterschiedlich sind. Somit könnte wieder auf das im übergeordneten Ansatz formulierte Prinzip der schrittweisen Trennung von Einzelklassen zurückgegriffen werden. Bei vier Klassen wären drei Teilmodelle aufzustellen. Wenn aber keine Klasse besonders gut von „Anderen“ zu trennen ist, ist aus pragmatischer Sicht auch ein synchron arbeitendes Modell, das die Klassen zugleich trennt, sinnvoll (MN 22 und MN 23).

Beide Vorgehen können in diesem Schritt Widersprüche gegenüber dem GÖS hervorbringen. Dagegen wird später in 7.3.2 ein Korrekturregelwerk angewandt.

Zwischenergebnis:

Es zeigte sich die Unmöglichkeit, eine sinnvolle Datenbasis, die alle Vorgaben abdeckt, zusammenzustellen. Die GFO-Klasse Stauwasser (1215) wird zugunsten ihrer BFG-Klassen 12, 13, 14 und 15 aufgelöst. Sie stehen auf gleicher hierarchischer Stufe wie die BFG-Klassen 17 und 21 innerhalb der GFO-Klasse Hang. Es wird versucht, diese maximal sechs Stauwasser-BFG-Klassen übergreifend in Hängen und Ebenen auszuweisen. Danach bleibt, im Hang- und Ebenenbereich die terrestrischen BFG-Klassen gegeneinander abzugrenzen. Dabei ist nach Substratklassen zu differenzieren.

STW-Vorkommen nach Wasserhaushaltsklassen, losgelöst von SUBLAG-Klassen, sind der Untersuchungsgegenstand, weil die GK25-Datenbasis eine gleichzeitige Modellierung von WH und SUBLAG nicht erlaubt.

7.2.11 GFO-Klasse „Steilhänge“ innerhalb von Hängen

Die Ausweisung der Steilhänge (2829) ist einfach, da sie durch klare numerische Angaben im GÖS 2000 definiert sind: Eine Hangneigung (SLOF) von $>45^\circ$, d.h. $>100\%$ ist verlangt.

Interessant ist ihre Ausweisung nur dann, wenn man sich von dieser einen Vorgabe lösen und zusätzliche Kriterien einsetzen wollte. Dies könnten z.B. Höchstwerte konkaver Wölbung sein, weil der Charakter der „Offenheit“ eines Steilhanges dann verloren geht, wenn der Ort umschlossen ist, d.h. in einem Bereich starker Konkavität oder auch geringer Exponiertheit liegt. Solch eine Limitierung wurde aber noch nicht eingebaut.

Es liegt im übrigen auf der Hand, dass GFO 2829 nicht innerhalb der Substrate 3 „Lösse“ und 7 „Kolluvien/Alluvien“ angelegt ist (Abb. 38). GFO 2829 wird demnach ein Teilbereich der bereits modellierten Festgesteinsbereiche sein (7.1.2). Nicht nur das ist vorgegeben, sondern auch, dass 2829 nur ein Teilbereich der bereits ausgewiesenen GFO-Klassen Hänge (1725) sein sollte, weil die Klassen Tal_{schmal}, Tal_{grw} und Ebene selbstredend keine Steilhänge beinhalten dürften.

In Bezug auf die Rücken (2627) ist der Sachverhalt nicht eindeutig, denn einerseits kann die Flanke eines modellierten Rückens durchaus steil sein, was GFO 2829 erfordern würde, aber andererseits ist ein vorgeschaltetes Modell insofern zu akzeptieren, als dass es nicht korrigiert werden sollte: Modellierte Zellen der Klasse Rücken bilden deshalb ebendiese Klasse, weil sie den Gesamtcharakter eines Rückens, definiert durch mehrere Variablen (MN 12), aufweisen; dies kann dem einen Entscheidungskriterium für die Klasse Steilhang entgegenstehen, ohne dass beide Teilmodelle in Frage gestellt werden.

Das einfache Kriterium der Steilheit des Geländes darf also nur in den vordefinierten Teilbereichen angewendet werden (Modellnummer MN 20). Insofern könnte MN 20 bereits hinter MN 14 gestellt werden. Da aber eine andere Methode verwendet wird als sonst bei der GFO-Ausweisung und weil Steilhänge eine Klasse sind, die in vorgeschaltete Hänge eingesetzt werden, steht es am Ende von Abschnitt 7.2.

MN 20 drückt sich im Validierungsgebiet nicht aus, da dort keine extrem steilen Hänge vorkommen; deshalb und wegen der Auflösung der STW-GFO-Klasse 1215 in ihre BFG-Klassen sind dort nur fünf statt sieben GFO-Klassen modelliert (Abb. 56, vgl. Karte 4b). Der Modellierungsstatus ist:

Status	Standortkomponente	Klassen	Standortkomponente	Klassen
6	Substrat	1	Geländeform	-
	Substrat	2456	Geländeform	12346 578 911 1725 2627 2829
	Substrat	3	Geländeform	12346 578 911 1725
	Substrat	7	Geländeform	12346 578
	Substrat / Lagerung	11- 74	-	-

7.3 Wasserhaushalt: Bodenfeuchtigkeit und Geländeform (BFG) innerhalb der GFO-Bereiche

Maximal neunundzwanzig Klassen sind auf der Aggregationsstufe BFG in der niedersächsischen Berglandkartierung möglich (Tab. 5). Eine Grundlage zu ihrer Differenzierung ist durch die Geländeform-Modellierung (GFO) gegeben. Innerhalb der GFO-Klassen soll nun weiter differenziert werden, so dass sich schließlich Wasserhaushaltsklassen im Sinn von terrestrischen „Frischestufen“, Stauwasser- und Grundwasserstufen ergeben. Karte 4b zeigt das Ergebnis.

Tab. 8 und Tab. 50 zeigen die ungleichmäßig verteilten Kombinationen von Lagerung und GFO bzw. BFG. Es wurde deutlich, dass Zusammenhänge zwischen SUBLAG und Wasserhaushalt bestehen, was auch nah lag. Somit wäre es zwar sinnvoll, zuerst Testläufe zur Trennung der Klassen spezifisch für einzelne Substrat / Lagerungszahlen, die größere Flächenanteile einnehmen, durchzuführen oder aber die Lagerungsverhältnisse als unabhängige Variable, also als steuernde Größe, einzubeziehen. Andererseits wurde in 7.1.4 festgestellt, dass die Herleitung von Substrat / Lagerung schwierig und somit mit Unsicherheit behaftet ist. Dies war der Grund für die Herleitung der GFO-Klassen innerhalb von Substratklassen, nicht innerhalb von Lagerungsklassen. Folglich kann auch nicht die Aggregationsstufe BFG innerhalb von Lagerungsklassen ausgewiesen werden. Davon abgesehen ist die Gesamtdatenbasis zu klein um alle Kombinationen aus BFG und SUBLAG zu bearbeiten.

Tab. 53 zeigt bisher modellierte Klassen ohne SUB 1, GFO 1215 und 2829 und aktuelle Zielklassen.

Tab. 53: Modellierte Substrat- und GFO-Klassen und Ziel-BFG-Klassen (vgl. Tab. 61).

mod. SUB	mod. GFO	Ziel - BFG						
2456	12346 578 911 1725 2627	1 2 3 4 6	5 7 8	9 10 11	17 18 19 20 21 22 23 24 25	26 27		
3	12346 578 911 1725	1 2 3 4 6	5 7 8	9 10 11	17 18 19 20 21 22 23 24 25	-		
7	12346 578	1 2 3 4 6	5 7 8	-	-	-		

Bei schrittweiser Trennung einer jeden BFG-Klasse in einzelnen GFO-Bereichen wiederum einzelner Substratbereiche ergäben sich bei einer vorgeschalteten Halbierung der Hangbereiche (Sonn-Schatthang) siebenunddreißig Modelle (in jedem Ziel-BFG-Block sind es $n - 1$). Also ist eine „spaltenweise“ oder „zeilenweise“ Zusammenfassung angeraten.

Zuvor hatte es sich auch als sinnvoll erwiesen, Substrat 3 und 7 im letzten Schritt ihrer GFO-Modellierung zusammenzulegen, so dass GFO 12346 und 578 resultierten. Dort wurde aber der Übergang von Substrat zu Wasserhaushalt gestaltet, hier geht es um die Differenzierung der Wasserhaushaltsklassen. Dies erlaubt eine andere Perspektive der Zusammenfassung.

7.3.1 Zweiteilung der Hangbereiche hoher und geringer Einstrahlung

Die neun BFG-Klassen der Hangstandorte sind wegen einer ökologisch begründeten Zweiteilung gesondert zu betrachten. Es bestehen Parallelen zwischen BFG-Codes auf Sonn- und Schatthang.

Schatt-	Sonnhang	Bedeutung
17	21	wechselfeuchte und hangfeuchte Hang- und Hangmuldenstandorte; auszuscheiden an mäßig und stärker geneigten S. mit Stau- und / oder Hangfeuchte.
18	22	hangfrische, nachhaltig frische und sehr frische, auch im Unterboden schwach durchrieselte Hang- und Hangmuldenstandorte.
19	23	frische und vorratsfrische, auch staufrische (im Unterboden physiologisch günstig) Hang- und Hangmuldenstandorte.
-	24	mäßig frische bis kaum frische Hangstandorte.
20	-	mäßig frische bis mäßig sommertrockene Hangstandorte.
-	25	mäßig sommertrockene Hangstandorte.

Die Differenzierung ist bis zu der Bezeichnung „frisch“, also im Prinzip für den unteren Hangbereich, auf den beiden Hangpartien gleich. Die Schatthang-Zahl 20 umfasst wasserhaushaltsbezogen beide verbleibenden Zahlen des Sonnenhangs, 24 und 25 (vgl. Tab. 5).

Dass sich einerseits die Klasse 20 und andererseits 24 und 25 nicht in konkaven Hangbereichen finden lassen sollten, wird aus dem Fehlen des Begriffs „Hangmuldenstandort“ deutlich. Es folgt aber nicht, bei der Modellfestlegung die Klassen 17 und 21, 18 und 22 und 19 und 23 zusammenfassen zu können, denn es ist möglich, dass z.B. ein „sehr frischer“ Standort auf einem Schatthang weiter hinauf reicht (Hanglänge, Hanghöhe) als auf einem Sonnenhang, weil die Verdunstungsverhältnisse unterschiedlich sind.

Es ist also zuerst eine Zweiteilung in Schatt- und Sonnhang notwendig. Der GÖS liefert dazu im GIS einfach handhabbare Schwellenwerte, wie z.B. auch bei der Definition der Steilhänge (7.2.11). Expositionsschwellenwerte grenzen die zwei Klassen ab. Es ist allerdings standörtlich sinnvoller, aus dem Set der Variablen bzw. Informationslagen (Kap. 5) diejenige zu finden, die geländeklimatisch aussagekräftiger als die Exposition ist, aber im Prinzip die gleiche oder zumindest eine ähnliche Zweiteilung des Hangbereiches erlaubt. In diesem Sinn wurden die drei IL EINSTR, EINSTRMOD und EINSTRMODBES (5.2.4.3) getestet.

Zwei gänzlich unterschiedliche Basisdatensätze sind denkbar:

- 1 Aufbauend auf kartierten Schatt-Sonnhängen
- 2 Aufbauend auf durch den GÖS definierten Schatt-Sonnhängen

Bei Punkt 1 tritt das Problem auf, dass sich die Kartierung nicht immer an die Limitierung der Expositionsangaben gehalten hat; somit ist die Kartierung im Sinn des GÖS leicht fehlerhaft.

7.3 Wasserhaushalt: Bodenfeuchtigkeit und Geländeform (BFG) innerhalb der GFO-Bereiche

Bei Punkt 2 tritt das Problem auf, keine eindeutige numerische Abgrenzung der Hänge gegen Ebenen, Täler und Rücken anwenden zu können; es würden somit Nicht-Hangzellen die Datenbasis mitaufbauen.

Punkt 1 und 2 können in Form eines Kompromisses zusammengeführt werden:

3 Es werden diejenigen kartierten Hangzellen genutzt, die der GÖS-Expositionsvorgabe entsprechen.

- Schatt- gegen Sonnhänge, aufgebaut aus allen Hang-BFG-Klassen (etwa je 21.000 Z):

Im ersten Schritt der Variablenwahl weisen die drei Einstrahlungsvariablen folgende pR^2E -Werte auf:

EINSTR	0.10
EINSTRMOD	0.57
EINSTRMODBES	0.61

Auffällig ist die geringe Bedeutung von EINSTR, also der Variablen, die nur die Einstrahlungsdauer integriert (5.2.4.3). Die anderen beiden IL zeigen nahezu den gleichen Wert, mit leichter Überlegenheit von EINSTRMODBES. Sie bildet deshalb mit EINSTR, die im zweiten Schritt einbezogen wird, das Modell:

Step	In	Entered	Removed	pR^2E	pR^2S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EINSTRMODBES		0.61	0.57				
2	2	EINSTR		0.02	0.02	0.38	0.62	-	error rate hier ohne Belang

- Schatt- gegen Sonnhänge, aufgebaut aus Hang-BFG-Klasse 19 und 23 (etwa je 9.000 Z):

Wie lassen sich die beiden typischen Hangbereiche der frischen-vorratsfrischen Wasserhaushaltsstufe (BFG 19 und 23), also diejenigen ohne die jeweils tendenziell trockeneren oder frischeren Hangbereiche, voneinander trennen? Die Kennwerte des ersten Auswahltrittes sind:

EINSTR	0.09
EINSTRMOD	0.56
EINSTRMODBES	0.60

Das vorherige Ergebnis wird bestätigt. Zusätzlich gelangt wieder EINSTR in das Modell, auch mit einem kleinen pR^2S von nur 0.04:

Step	In	Entered	Removed	pR^2E	pR^2S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EINSTRMODBES		0.60	0.58				
2	2	EINSTR		0.04	0.04	0.38	0.62	-	error rate hier ohne Belang

In Anbetracht des geringen Beitrags von EINSTR kann festgehalten werden, dass EINSTRMODBES, die IL mit der Integration der meisten geländeklimatisch beeinflussenden Faktoren (5.2.4.3), am besten zur Widergabe der zwei Hangpartien geeignet ist. Bei nur einer verwendeten Variable ist der Prozeß der Trennung in zwei Klassen per DA mit einer regelhaften Schwellenwertanwendung zu vergleichen; die Schwelle liegt bei dem Wert 1990 der IL EINSTRMODBES.

Während der GÖS streng nach Expositionswerten agiert, sind Einstrahlungswerte nicht in dem Maße expositionsgelunden, weil sie z.B. Horizontüberhöhungen berücksichtigen. Eine Asymmetrie in der modellhaften Beleuchtung des Geländes bei der Herleitung der Einstrahlungsvariablen wurde durch den Einbau einiger Faktoren erreicht (5.2.4.3). In diesem Sinn halbieren auch die Expositionsschwellenwerte die Hänge nicht in West-Ost-Ausrichtung, sondern ordnen dem Sonnhang einen Richtung Westen verdrehten von 112,5° bis 292,5° reichenden Abschnitt zu (AKS 1996:18, entsprechend GÖS „von OSO über S nach WNW exponierte Hänge“). Insofern ist es interessant, wie durch Einstrahlung definierte Modellklassen im Raum liegen. Die Anwendung des ersten Modells -ohne Modifikation der *a-priori*-Annahme gleicher Klassengröße- ergibt im Validierungsgebiet die Verteilung wie in Abb. 57 a gezeigt.

In Bereichen west-östlicher Talverläufe wie im westlichen Ausschnitt sind die beiden Klassifizierungen sehr ähnlich. Es wird auch deutlich, dass viele Zellen im flachen Bereich auf den Sonnhang entfallen, obwohl sie relativ weit nach Norden exponiert sind; sie empfangen relativ viel Einstrahlung, da sie relativ weit „oben“ und „frei“ positioniert sind. D.h., entweder spiegelt die Variable EINSTRMODBES dort die forstlich relevanten Einstrahlungsverhältnisse nicht ausreichend wider oder aber die numerische Klasseneinteilung anhand von Expositionswerten entspricht nicht der Intention, die Einstrahlungsverhältnisse zu berücksichtigen. Diese Fragen können nur durch Werte von Klimameßstationen, deren Verteilung im Raum speziell auf diese Fragen ausgerichtet ist, beantwortet werden. Im zentraleren Bereich ist EINSTRMODBES aber geeignet.

In der weiteren Modellierung wurden die GÖS-Schwellenwerte verwendet, um Vergleichbarkeit zu Referenzkartierungen zu gewährleisten. Die Modellnummer ist MN 21. Einstrahlungsvariablen können aber herangezogen werden, um innerhalb der beiden Hangpartien weiter zu differenzieren (7.3.3).

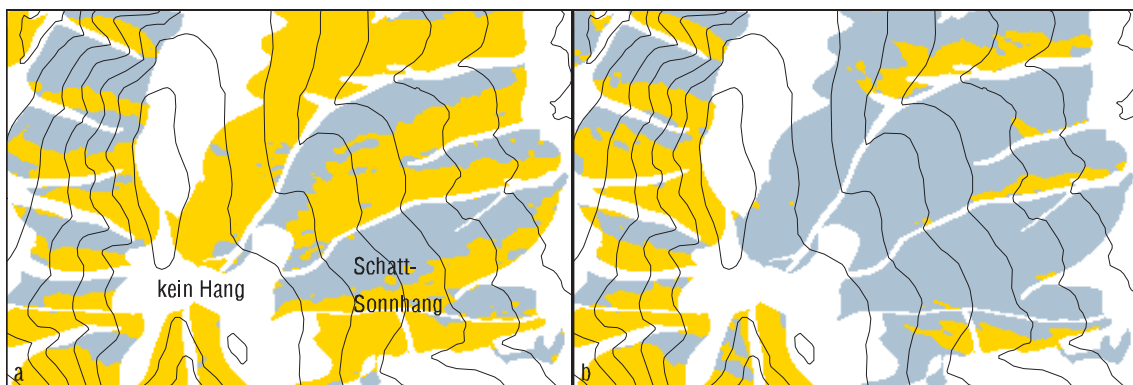


Abb. 57: Trennung kartierter Hangbereiche in die BFG-Gruppenklassen Schatt- und Sonnhänge mit der Variablen EINSTRMODBES (a) und nach Expositionsschwellenwerten (b). Blau ~ Schatthang. Maßstab 1:40.000. 20 m Äquidistanz. Ausschnitt 3550840 5730400 3553840 5732400.

7.3.2 Stauwasserbeeinflusste BFG innerhalb GFO-Bereich „Ebene“ und „Hang“

In 7.2.10 wurde hergeleitet, die Stauwasserstandorte BFG 12-15 aus konzeptionellen Gründen auf dem Level der BFG-Klassen zusammen mit terrestrischen BFG-Klassen zu modellieren. Prämissen sind:

- 1 STW-Bereiche liegen nur dort, wo Hänge oder Ebenen kartiert würden, wenn die Forstliche Standortkartierung keine STW-Bereiche erfordern würde.
- 2 Die als Klasse Stauwasser verwendeten Zellen sind solche, die nach BFG-Kodierung und somit nach dem Kriterium Wasserhaushalt Stauwasserstandorte sind (BFG 12, 13, 14, 15, 17, 21, vgl. Tab. 5). Sie beinhalten z.T. Standorte, die auch nach Lagerung stauwasserbeeinflusst sind (SUBLAG 24, 34 u. a.).

Wie sind einzelne STW-BFG-Klassen zu trennen bzw. zusammenzufassen ?

Die Hang-BFG-Klasse 17 bzw. 21 ist nach Tab. 54 der stauwasserbetonten Klasse 14 ähnlicher als 13; dort ist der STW-Effekt deutlicher, was die explizit erwähnte Reduktionszone und die längere Verweildauer des Wassers im Profil zeigen. In der Datenbasis in nennenswertem Umfang vorhandenen Stauwasser-BFG-Klassen sind also in diesem Sinn ordinal anzuordnen.

Tab. 54: Stauwasserstandorte der Standortkomponente BFG (Modellierungsgebiet). Vereinfacht nach GÖS.

BFG	12	13	14	15	17 / 21
ha	5	415	664	13	35 / 85
Definition	sehr stark wechselfeuchte bis wechselfeuchte S.	stärker wechselfeuchte bis staufeuchte S.	schwächer wechselfeuchte bis staufrische S.	staunasse S.	wechselfeuchte u. hangfeuchte S.; anmäßig und stärker geneigten S.
Grenzbereichsdefinition	weniger stark geneigte Lagen, jedoch auch Hangstandorte;	wie 12; erhebliche Reduktionszonen. Tageswasser <i>lange</i> im Profil	wie 12; erhebliche Oxidationszonen. Tageswasser <i>kurz</i> im Profil	weniger stark geneigte Lagen, auch Hangmulden. Tageswasser <i>lange</i> im Profil bzw. auch in VZ gefüllt	Überschußwasser aufgrund der Hanglage ... in Bewegung, keine Sauerstoffarmut
nicht auszuscheiden bei	Schatt- oder Sonnhänge mit >10 % Neigung	wie 12	wie 12	wie 12	STW-S. in ebenen bis schwach geneigten Lagen (<10 %)

Wenn man aber bezogen auf eine Ausweisung von Waldentwicklungstypen weiter gruppieren müßte als bei BÖCKMANN (2002) vorgegeben, würden 14, 17 und 21 zueinander gestellt und BFG 13 wäre abseits anzusiedeln (WACHTER 2002, mündl.). Nun aber 14, 17 und 21 bei der Modellierung zusammenzustellen wird dadurch abgelehnt, dass sich 14 entgegen den beiden anderen eher in den größerflächig ebenen Bereichen findet.

BFG 12, 13 und 15 sind die eigentlich stauwasserbeeinflussten Standorte. WACHTER (2002, mündl.) meint, eine „Belastung“ der Bestände tritt bei BFG 13, also den stärker wechselfeuchten bis staufeuchten Standorten, aber eigentlich nicht bei BFG 14 auf. Dort sitzt der Staukörper tiefer und der Feuchtigkeitswechsel ist abgemildert. Klasse 14 ist baumphysiologisch noch günstig, tiefere Durchwurzelung tritt auf, was als Indiz dafür angesehen werden kann, dass der Baum sich einerseits mit dem Stauwasserphänomen arrangieren kann und andererseits sogar dieses Stauwasser, was im Unterboden noch existiert, verfügbar ist, wenn oben schon Austrocknung eintritt. Bei negativ wirkender, deutlicher Staunässe würde sich das Wurzelwerk vieler Baumarten auf den oberen Boden beschränken.

BFG 14 wird bei der WET-Herleitung somit sinnvollerweise zu 9 und 18, 19, 22, 23 und sogar 26f gestellt, also zu frischen, vorratsfrischen und auch staufrischen Standorten (BÖCKMANN 2002). Von Seiten der Lage im Relief (GFO-Klasse) passt 14 am besten zu BFG 9, den frischen und vorratsfrischen Ebenen. Bei 1721 befindet sich das Überschußwasser in Bewegung („Hangnässe“), was dafür sorgt, dass es sich nicht um einen Stauwasserstandort im engeren Sinn handeln kann.

Das Kernproblem einer Gruppierung bzw. Zergliederung entstand dadurch, dass die BFG-Klassen 12 – 15 im GÖS als eine Klasse abseits von der der Ebenen und Hänge ausgewiesen werden, aber gleichzeitig verwandte Klassen wie 17 und 21 klar den Hängen zugeordnet werden. Wenn dann sogar konstatiert wird, 14 wäre 17 und 21 von Seiten der Bedeutung für das Baumwachstum ähnlicher als 13, wird die Asymmetrie des Klassengefüges verstärkt. Somit ist die Auflösung von GFO 1215 zu vier BFG-Klassen 12 – 15 und die anschließende Behandlung zusammen mit den BFG-Klassen 9 – 11 und denen der Hänge gerechtfertigt bzw. sogar notwendig.

Es bleibt aber bei diesem Modellaufbau zu prüfen, ob in einem Modellschritt BFG-Klassen zusammengefaßt werden sollen. Bei der Trennung von fünf GFO-Klassen im Substratbereich Festgestein wurde so dem Ansatz konform gehandelt (7.2.2). Sollte z.B. zuerst BFG 13 gegenüber allen anderen BFG-Klassen modelliert werden? Hier wären dann „Andere“ ein weites Set sehr verschiedener Klassen. Durch die zuvor und in 7.2.10 erläuterte Mischung von Kriterien verschiedener Prägung ist es nicht sinnvoll möglich, eine STW-BFG-Klasse mit anderen Klassen zu gruppieren. Somit ist es am sinnvollsten, alle vier separat und synchron statt schrittweise zu modellieren; dann ist es nicht von Belang, welche BFG-Klassen standörtlich am ähnlichsten sind.

Die beiden im Vergleich zu 12 und 15 „moderaten“ Stauwasser-BFG-Klassen 13 und 14 bauen den Modellierungsdatensatz zumeist auf. Die extremeren BFG-Klassen 12 und 15 bleiben wegen der geringen Vorkommen in dieser Datenbasis unberücksichtigt.

Hänge und Ebenen werden zuerst zusammengefaßt, um die Stauwasser-BFG-Klassen herzuleiten. Der Bereich, der nicht als stauwasserbeeinflusst modelliert wird, gilt dann als Bereich terrestrischer BFG-Klassen (7.3.3 und 7.3.4). In dieser Situation sind vier Klassen voneinander zu trennen: BFG 13, 14 und zusammengefaßt 17 und 21 und dem gegenüber die zusammengefaßten Ebenen-Klassen 9, 10 und 11 und Hang-Klassen 18, 19, 20, 22, 23 und 24 (25 fehlt). Terrestrische Standorte mit Variante „s“ wurden eliminiert, um durch wasserhaushaltlich weiter entfernte Standorte eine klarere Trennung zu erreichen.

- MN 22, Ansatz 1a: BFG 13 gegen 14 gegen 1721 gegen (9u10u11u18u19u20u22u23u24u25) in SUB 2456 (etwa je 8.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLODIS17		0.48	0.21				
2	2	TWIF		0.11	0.07				
3	3	EXP2		0.07	0.07				
4	4	PATHOELENQUO		0.06	0.06	0.40	0.23	-	

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.03)

Vier Variablen werden gewählt, davon ist SLODIS17, also die Distanz zu Bereichen mit Neigung von mehr als 17 %, am bedeutsamsten. Der *topographic wetness index* (TWIF), eine Exponiertheitsvariable und die Neigungsverhältnisse im nach oben anschließenden Hang ergänzen das Modell.

Da hier vier Klassen zugleich getrennt werden, ist die Angabe der allgemeinen *error rate* bzw. Trefferquote wenig aussagekräftig. Vielmehr müssen Trefferquoten je Klasse betrachtet werden. Sie liegen zwischen 37 und 67 %. Wird eine Klasse zu weit ausgedehnt modelliert, ist die Quote tendenziell höher und umgekehrt. Ein DB₁-2-Datensatz wird als Grundlage für anschließende Anwendungen erstellt.

- MN 23, Ansatz 1b: BFG 13 gegen 14 gegen 1721 gegen (9u18u19u22u23) in SUB 3 (etwa je 3.500 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLODIS17		0.37	0.04				
2	2	EUCKUPW		0.13	0.08				
3	3	HOEDIFTIE		0.10	0.14				
4	4	EXP2		0.12	0.11				
5	5	SLODIS9		0.06	0.06				
6	6	FLI-I		0.06	0.06	0.39	0.24	-	

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.03)

Die Trefferquote je Klasse bei Reklassifikation liegt zwischen 50 % und 70 %. Der hohe Wert von 70 % wird allerdings dort erreicht, wo die Klasse ausgedehnter modelliert als kartiert wurde. Oftmals wird -wie auch bei 1b- eine Zelle in lagebezogen verwandte Klassen umgesetzt, so von 13 zu 14 und umgekehrt. Es ist nicht überraschend, dass sich eher 13 und 14 austauschen, da beide vor allem auf den flacheren Bereichen erlaubt und kartiert sind, 1721 und 925 hingegen auf den geneigten; sie sind sich also lagebezogen ähnlicher. Nach der im GÖS definierten Genese der STW-Standorte und in Anbetracht des o.g. 10 %-Schwellenwerts ist das Ergebnis plausibel. Nach ihrer Bedeutung für das Baumwachstum sind aber 14 und 1721 ähnlicher. Dies sollte sich im Modellergebnis bei dem gegenseitigen Ersetzen von Klassen auswirken. Das ist aber nicht der Fall. Ist das Ergebnis trotzdem zu akzeptieren ?

Bei diesem Schritt ist nicht nur die Lage der STW-Klassen von Interesse, sondern als Pendant dazu auch die Lage der Klasse „terrestrische BFG“ (925) in Hängen und Ebenen. Denn nur dieser Bereich steht im nächsten Schritt für die Modellierung der BFG-Klassen 9-11 (Ebene) und 18-20 und 22-25 (Hang) zur Verfügung. Somit ist das Ergebnis dieses Schrittes nicht unwichtig. Sollte die Ausweisung der STW-Bereiche ungenügend sein, ist zu erwägen, sie nicht zu modellieren. Dies hieße aber, die gesamte Ebenen- und Hangfläche mit terrestrischen BFG-Klassen zu belegen und unweigerlich tatsächliche STW-Standorte im Vorschlagmodell falsch auszuweisen.

Unter Abwägung des Für und Wider erscheint die -wenn auch unsichere- Ausweisung von STW-Flächen sinnvoll. Man darf ihr Vorkommen im Modell nur als weniger wahrscheinlichen Vorschlag werten. Ein DB₁-2-Datensatz mit den sechs geomorphologischen Variablen wird generiert, um das Modell für die Übertragung bzw. Anwendung bereitzustellen.

• **Übertragung auf das Validierungsgebiet:**

Im Validierungsgebiet treten stauwasserbeeinflusste Standorte auf, so dass die Prüfung der Stauwassermodelle anhand dieses Gebietes möglich ist (Tab. 55). Das Ergebnis der Anwendung im Validierungsgebiet zusammen mit dem Ergebnis für die Festgesteinsbereiche zeigt Abb. 58.

Tab. 55: Kartierte stauwasserbeeinflusste Standorte im Validierungsgebiet.

	BFG 12	BFG 13	BFG 14	BFG 17	BFG 21
Polygone	1	9	30	13	4
ha	8	35	102	59	12
% des Validierungsgebiets	0,5	2,2	6,4	3,7	0,7

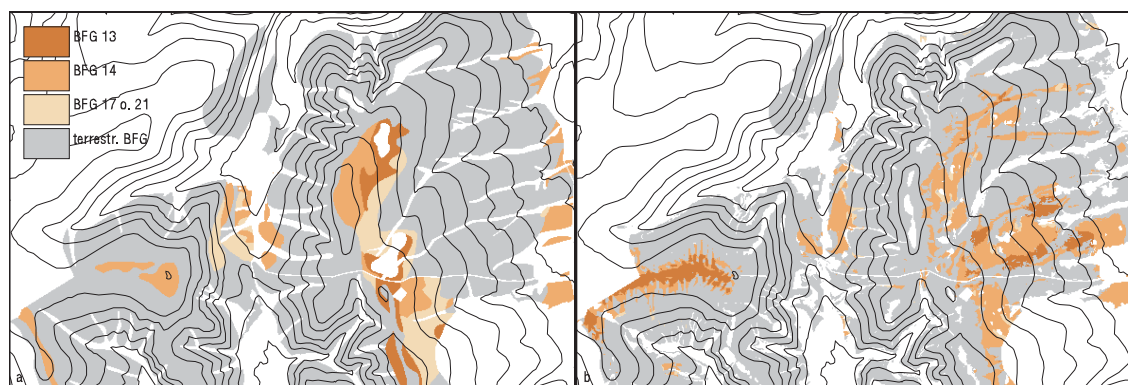


Abb. 58: Kartierte und modellierte BFG-Klassen 13, 14, 1721 gegenüber terrestrischen Klassen im Bereich der Ebenen und Hänge der Substratklassen „Festgestein“ und „Löß“. Maßstab 1:80.0000. 20 m Äquidistanz. Ausschnitt 3548100 5729600 3555300 5734100.

Der Nachteil ist wie in allen Situationen, in denen die gleichen Klassen in zwei benachbarten, zuvor modellierten Räumen, ausgewiesen werden, auch hier der Versatz, d.h. die Unterbrechung von STW-Klassen, da die beiden Teilmodelle in Substrat 3 und 2456 im Übergang der Substrate nicht konform agieren. Er ist vorhanden, aber ohne ein Einzeichnen der Grenze zwischen 3 und 2456 fällt er nicht negativ auf. D.h., die Modelle bringen durchaus eine plausibel erscheinende Abfolge von STW-Klassen hervor. Diese Plausibilität wird aber auch durch die vier sich abwechselnden Klassen suggeriert; bei nur einer STW-Klasse wäre der Versatz augenfälliger. Der Mangel des Versatzes gleicher Klassen kann nur abgestellt werden, wenn ein übergreifendes Modell angewendet wird (Ansatz 2). Das eigentliche Manko ist die Ausweisung der relativ großen STW-Flächen im Osten des Gebietes entgegen den terrestrischen Klassen der Kartierung (vgl. abschließende BFG-Diskussion in 7.3.9).

- Ansatz 2: BFG 13, 14, 1721 gegen (9, 10, 11, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25) (etwa je 7.000 Z):

In einem nächsten Versuch werden nicht nur Hang und Ebene zusammengefügt, sondern auch die Substratbereiche „Festgestein“ und „Löß“. Es konnte ein Datensatz mit etwa je 7.000 Zellen der vier BFG-Klassen(gruppen) aufgestellt werden.

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLODIS17		0.41	0.06				
2	2	EXP2		0.10	-				
3	3	TWIF		0.07	0.04				
4	4	HOEDIFTIE		0.04	0.05				
5	5	EXP210		0.04	0.08				
6	6	EXP8		0.03	0.05				
7	5	-	EXP2	-	-				
8	6	EUCKUPW		0.03	0.03	0.44	0.21	-	-

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.03)

Die Variablenwahl ergab ein ähnliches Bild wie in den beiden vorangegangenen Ansätzen. SLODIS17 und Exponiertheitsvariablen sind wichtig. Die einzelnen Trefferquoten liegen zwischen 39 % und 65 %. Bei Reklassifikation fiel wieder positiv auf, dass sich einerseits vornehmlich die beiden Klassen 13 und 14 ersetzen und andererseits die beiden Klassen 1721 und 925. Dies ist standörtlich akzeptabel, weil die beiden Klassen aus Sicht der GÖS-Definitionen jeweils ähnlich sind (vgl. Tabelle im Anhang).

Die Übertragung auf das Validierungsgebiet war aber nicht sonderlich erfolgreich. Es wurde mit Hilfe der *a-priori*-Einstellungen zwar wieder in etwa die gewünschte absolute Ausdehnung der Klassen 13, 14 und 1721 produziert, aber die Kongruenz zwischen Karte und Modell war geringer als bei Kombination der Ansätze 1a und 1b (42 ha anstatt 31 ha Kongruenz der Klassen 13, 14 und 1721, dabei auch höhere Kongruenz bei allen Einzelklassen).

Allerdings liegen die drei STW-Klassen bei beiden Ansätzen zumeist in den Teilräumen des Validierungsgebietes, in denen STW auch kartiert wurde; sie weisen aber das Manko des gegenseitigen Ersetzens auf (13 gegen 14, 13 gegen 1721, 14 gegen 1721).

Bei Ansatz 2 war auch das -wenn auch flächenmäßig geringe- Auftreten der Stauwasserbereiche in stärker geneigten Hangbereichen negativ zu beurteilen. Insofern sollte dieser Ansatz nur dann genutzt werden, wenn andere Ansätze nicht zu besseren Ergebnissen führen. Es wird allerdings gewährleistet, dass keine Lücken (Brüche) zwischen gleichen Klassen, die in zwei Substraten modelliert wurden, entstehen. Dies entspricht der Intention dieses Ansatzes 2 gegenüber 1a und 1b.

Abschließend wird ein Regularium angewandt, um Widersprüche gegenüber dem GÖS zu korrigieren, wie in Abschnitt 7.2.10 angesprochen:

- Widersprüche:
- a 1721 im flacheren Bereich (<10 % Neigung)
 - b 1721 im GFO-Bereich Ebene
 - c 13 im steileren Bereich (>10 % Neigung)
 - d 14 im steileren Bereich (>10 % Neigung)

Korrekturen:

- a 1721 wird in Klasse 14 umgesetzt, weil 14 im flacheren Bereich erlaubt ist und 1721 nah steht.
- b 1721 wird in Klasse 14 umgesetzt, weil 14 im GFO-Bereich Ebene erlaubt ist und 1721 nah steht.
- c 13 bleibt 13, weil 13 von der im steileren Bereich erlaubten Klasse 1721 standörtlich weiter entfernt ist.
- d 14 wird in Klasse 1721 umgesetzt, weil 1721 im steileren Bereich erlaubt ist und 14 nah steht.

Zwischenergebnis

Favorisiert wird der zweigeteilte Ansatz 1 (a und b), weil die Kongruenzen bei Validierung etwas günstiger sind und damit auch konform dem übergeordneten Ansatz des verschachtelten Vorgehens gehandelt wird. Das Modell für BFG 13, 14 und 1721 ist damit formuliert und auch der Restraum der terrestrischen BFG in Hang und Ebene definiert. Der Modellierungsstatus ist:

Status 7	Substratklassen bzw. Lagerungsklassen	GFO-Klassen	BFG-Klassen
	1	-	-
2456	12346	-	
	578	-	
	911	(12) 13 14 (15) 17 21	
	1725	(12) 13 14 (15) 17 21	
	2627	-	
	2829	-	
3	12346	-	
	578	-	
	911	(12) 13 14 (15) 17 21	
	1725	(12) 13 14 (15) 17 21	
7	12346	-	
	578	-	
11 - 74	-	-	

- **Einbeziehung der GK25-abhängigen Substrateigenschaften, Bergland:**

Verbessern Variablen, die den Sand- und Tongehalt der Substrate am Ort und im EZG beschreiben sollen, die STW-Teilmodelle? Diese Frage schließt sich an, obwohl bekannt ist, dass wegen der nicht überall gewährleisteten Verfügbarkeit von GK25-Information Modelle ggf. nicht verbessert werden könnten.

Beispielsweise findet sich im Bramwald BFG 21 (Tab. 5) auf einem Oberhang sinnvoll kombiniert mit Lagerung 24 (Tab. 3), d.h., das Unterlagernde ist tonig und fördert demnach Staumerkmale. Die analoge GK25 weist dort aber kein Tongestein aus, was auf Tonverlagerung aus den oberen Bereichen einer Decke in den Unterboden als Grund für diese Standortklassen deutet.

Durch die Erstellung der IL der „Intensitäten der Eigenschaften im Einzugsgebiet“ ist die potenzielle Beeinflussung einer Zelle durch Gesteine quantifiziert worden (7.1.4.1.12). Außerdem wurde dort das „Unterlagernde“ Gestein beschrieben (UNT-GK). Diese Variable beinhaltet aber keinen Wert, der „Sandstein“ als Unterlagerndes anzeigt, weil dies, wie in Tab. 3 und Tab. 37 gezeigt, nicht verlangt wird. Statt UNT-GK können diejenigen Werte, die UNT-GK bzw. DEC-S-INT direkt vorgeschaltet sind, benutzt werden: Die Intensitäten der Eigenschaften ohne die Berücksichtigung des Einzugsgebiets. DEC-T-INT, DEC-S-INT und UNT-T-INT und als Ausnahme UNT-S-INT wurden deshalb bei dem Variablenselektionsverfahren verwendet.

Da nur für 4580 ha der Gesamtdatenbasis GK25-Information digital vorhanden war, konnten die Datensätze, die bei den beiden zuvor beschriebenen Modellen (MN 22, MN 23) verwendet wurden, nicht nur um die o.g. Variablen erweitert werden. Es mußten auch andere Sets erstellt werden, da eine Prämisse ist, immer gleiche Klassengrößen vorzugeben, um Allgemeingültigkeit der Modellierungsdatensätze zu erreichen (6.1.3). Die Klassengrößen orientieren sich an der kleinsten beteiligten Klasse. Deswegen und wegen der GK25-Limitierung sind die Datensätze besonders klein, was ungünstig ist, weil es sich um einen schwierigen Modellierungsschritt handelt. Vier BFG-Klassen(gruppen) zu trennen ist somit nicht zu erwarten. Deshalb wurden nur je zwei Klassen herangezogen: BFG 14 gegen 925 bzw. 13 gegen 925, gestaffelt in Substrat 2456 und 3:

- BFG 13 gegen 925 in Substrat 2456:
Kein Modell wegen Datenmangel aufstellbar.
- BFG 14 gegen 925 in Substrat 2456 (etwa je 1.200 Z):
Drei geomorphologische Variablen gelangen in das Modell; es wird durch UNT-S-INT erweitert. UNT-S-INT wirkt aber unerwartet: Bei höherer Intensität der Eigenschaft „sandig“ wird BFG 14, also die Stauwasserklasse entgegen terrestrischen Ebenen und Hängen gefördert.
- BFG 13 gegen 925 in Substrat 3 (etwa je 330 Z):
Fünf geomorphologische Variablen werden gewählt; es wird nicht durch Intensitätsvariablen erweitert.
- BFG 14 gegen 925 in Substrat 3 (etwa je 650 Z):
Drei geomorphologische Variablen gelangen in das Modell; es wird ebenfalls nicht durch Intensitätsvariablen erweitert.

Zwischenergebnis:

Die Variablen DEC-T-INT und DEC-S-INT, UNT-T-INT und UNT-S-INT verbessern Stauwasser-BFG-Modelle nicht. Dies muss im Kontext der gesamten Modellierung besprochen werden (8.2), weil die Variablen der „Intensitäten der Eigenschaften im EZG“ benutzt werden, um Lagerungsklassen herzuleiten (7.1.4.1).

7.3.3 Terrestrische BFG separater Schatt- und Sonnhänge innerhalb GFO-Bereich „Hang“

In diesem Abschnitt werden Unsicherheiten und Gefahrenpunkte der Variablenwahl und -verwendung relativ detailliert diskutiert, weil einige interessante Fragwürdigkeiten auftreten.

Maximal dreizehn BFG-Klassen sind innerhalb der Hänge voneinander zu trennen, wenn man zu den neun terrestrischen die vier deutlich stauwasserbeeinflussten Klassen 12 – 15 hinzuzählt. Diese vier und die beiden Klassen 17 und 21 (zusammengefaßt 1721) wurden separat nach Festgestein und Löß in 7.3.2 behandelt. Für die Belegung des verbleibenden Raumes werden vier Teilmodelle getestet:

Modellumschreibung	Modellkürzel	BFG	BFG	BFG
Schatthang-BFG-Klassen in SUB 3	SCHHANG-SUB-3	18	19	-
Sonnhang-BFG-Klassen in SUB 3	SONHANG-SUB-3	22	23	-
Schatthang-BFG-Klassen in SUB 2456	SCHHANG-SUB-2456	18	19	20
Sonnhang-BFG-Klassen in SUB 2456	SONHANG-SUB-2456	22	23	24 (25)

Innerhalb der Lössen kommen BFG 20 bzw. 24 und 25 kartiert nicht vor, was damit zu tun hat, dass in auf Lößstandorten selten Wassermangel auftritt. Innerhalb der Festgesteinsbereiche kommt 25 nicht vor, so dass auch diese Klasse nicht modelliert werden kann. Dies sollte in der Kartenlegende des Kartierungsvorschlags vermerkt werden (vgl. Karte 4b). Folgende Übersicht zeigt die aktuelle Datenbasis der BFG-Klassen nach Schatt- und Sonnhang und Substratklassen (ha).

BFG	18	19	.	22	23	.	18	19	20	.	22	23	24
Substrat 3	235	296	.	277	250	.	-	-	-	.	-	-	-
Substrat 2456	-	-	.	-	-	.	24	1980	94	.	54	2639	318

Terrestrische BFG-Klassen sind demnach im ausreichendem Maß vertreten. Nur bei BFG 18 und 22 innerhalb Substrat 2456 läßt die geringe ha-Zahl zu wenige Flächen befürchten. BFG 18 ist aber immerhin aus zehn und BFG 22 aus vierundzwanzig Flächen aufgebaut, so dass die Grundlage ausreicht.

Ansatz 1: Synchroner Trennung

Die pR^2_{stay} und pR^2_{entry} -Werte wurden so justiert, dass in den nächsten vier Modellen jeweils höchstens vier Variablen auftreten. Dies erhöht die Vergleichbarkeit. Bei den beiden letzten Modellen ist eine Erhöhung dieser Schwellenwerte angebracht, weil sonst die Variablenanzahl unerwünscht hoch ist. Dies ist ein Phänomen bei der synchronen Teilung von mehr als zwei Klassen.

- MN 24, SCHHANG-SUB-3: BFG 18 gegen 19 in Substrat 3 (etwa je 1.400 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR^2_E	pR^2_S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EXP210		0.07	0.15				
2	2	SLODIS9		0.06	0.08				
3	3	EINSTR		0.05	0.05	0.82	0.18	32	-

(Hinweis: pR^2_{entry} und pR^2_{stay} 0.02, HOE, ASP und ASPWEST in diesem Modellabschnitt nicht zur Verwendung bereitgestellt)

Eine Exponiertheitsvariable (EXP210) ist am bedeutsamsten, gefolgt von der Distanz zu schwach geneigten Bereichen SLODIS9 und der Einstrahlungsvariable EINSTR. Die Klassifikationskoeffizienten zeigen an, dass BFG 18, die frischere Klasse, tendenziell bei geringer Exponiertheit und bei kurzer Distanz zu schwach geneigten Bereichen vorkommt. Dies ist plausibel, wenn man die Lage im Raum z.B. im Bereich des Bramwaldes betrachtet. Klasse 18 resultiert aber auch dann vermehrt, wenn sich die Einstrahlung (EINSTR) erhöht. Dies ist später zu diskutieren. Die Trefferquote liegt bei 63 % (BFG 18) bzw. 71 % (BFG 19). Dabei wird BFG 19 etwas zu weit ausgedehnt modelliert.

- MN 25, SONHANG-SUB-3: BFG 22 gegen 23 in Substrat 3 (etwa je 1.200 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	FLI-IL		0.12	0.09				
2	2	SLODIS9		0.03	0.06				
3	3	EXP210		0.03	0.06				
4	4	EXPSUMNAH		0.03	0.03	0.80	0.20	31	-

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.02)

Zwei der zuvor selektierten Variablen treten auch jetzt auf (SLODIS9, EXP210). Die Klassifikationskoeffizienten sind denen der vorangegangenen Diskrimination tendenziell ähnlich. Insofern festigt sich der o.g. Eindruck der mutmaßlichen Lage der frischeren Klasse im Raum, hier BFG 22 anstatt 23.

Die Einstrahlungsvariable fehlt hier, ein Form-Lage-Index und eine Variable der Exponiertheit der näheren Umgebung (EXPSUMNAH) treten hinzu. Wenn der Form-Lage-Index niedrig ist, die Zelle liegt relativ weit unten, tritt eher die frischere Klasse auf, was sinnvoll scheint. Bei EXPSUMNAH ist es umgekehrt: Tallagen (hohe Werte der Variablen) fördern BFG 23; dies scheint unwahrscheinlich. Die Variable trägt nur geringe Bedeutung (pR²S). Hier wird deutlich, dass Variablen mit geringer Bedeutung die Klassifikation unerwartet lenken können und insofern ist eine Limitierung durch die pR²S- und pR²E-Werte, wie sie praktiziert wurde, eventuell zu wenig streng. D.h., manche Variablen müssten durch strengere Schwellenwertanwendung ausgegrenzt werden. Andererseits ist nicht ausgeschlossen, dass die Wirkung dieser Variablen im Zusammenspiel mit den anderen drei Variablen standörtlich korrekt ist; dies kann aber in dem Geflecht der vier Variablen nicht entschieden werden. Für den Einsatz der Variablen spricht ein tendenziell plausibler Koeffizient, der sich bei der alleinigen Verwendung dieser Variablen ergibt.

Ob das Fehlen von EINSTR zu begründen ist, lässt sich nach den nächsten Schritten diskutieren.

- SCHHANG-SUB-2456: BFG 18, 19 und 20 in Substrat 2456 (etwa je 2.400 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLOF		0.15	0.06				
2	2	EXP2		0.11	0.10				
3	3	EXPNAH		0.05	0.08				
4	4	EINSTR		0.06	0.06	0.67	0.17	-	

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.05)

Neigung und Exponiertheit sind am wichtigsten wichtigsten (je steiler und / oder exponierter desto trockener). Die allgemeine *error rate* ist hier wenig aussagekräftig, da die Klassen etwas unterschiedlich ausgedehnt modelliert wurden. Einzelne Trefferquoten liegen zwischen 41 % und 82 %.

Im vorherigen Modell war die Eignung bzw. Wirkung von EXPSUMNAH diskutiert worden. Wie verhält es sich hier mit der verwandten Variable EXPNAH (5.2.3.5)? Sie entspricht den Erwartungen, denn je mehr sie geringe „Exponiertheit der näheren Umgebung“ anzeigt (Werte hoch), desto eher tritt die frischere Hangklasse auf (18 bzw. 19). Die Verwendung solcher Variablen wird also unterstützt.

EINSTR agiert im Modell gemessen an den Koeffizienten auf gleiche Art wie in Modell der Substrat 3-Schatthänge, was die Fragwürdigkeit untermauert: Je höher die Einstrahlung, desto eher tritt die frischere BFG-Klasse auf (18 bzw. 19). Dies wird später wieder aufgegriffen.

- SONHANG-SUB-2456: BFG 22, 23 und 24 in Substrat 2456 (etwa je 5.200 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLOF		0.12	0.22				
2	2	EXP2		0.16	0.11				
3	3	FLI-I		0.06	0.04				
4	4	PATLENF		0.04	0.04	0.67	0.17	-	

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.03)

Neigung und Exponiertheit sind wie zuvor am bedeutsamsten. Ein Form-Lage-Index und eine Pfadlängenvariable treten hinzu. Die Trefferquote liegt zwischen 38 % und 67 %. Sinnvoll ist im Reklassifikationsergebnis das vornehmliche Austauschen der ordinal benachbarten Klassen 22-23 und 23-24. Insofern ist die geringe Trefferquote bei der „mittleren“ Klasse 23 nicht als negativ zu beurteilen. Dies war entsprechend auch bei der Trennung von BFG 18, 19 und 20 im vorherigen Modell der Fall.

Die Koeffizienten sind allesamt tendenziell sinnvoll: Je steiler oder je exponierter der Ort, oder je größer der Form-Lage-Index FLI-I oder je geringer die nach oben anschließende Hanglänge (PATLENF), desto eher resultiert die trockenere BFG-Klasse 24.

Zwischenergebnis Ansatz 1:

Wie liegen die sechs BFG-Klassen im Raum? Abb. 59 zeigt die Verteilung der terrestrischen Hang-BFG-Klassen nach einer durch *a-priori*-Einstellungen justierten Modellierung. Die tendenziell trockeneren BFG 20 und 24 liegen relativ weit oben, die frischeren relativ weit unten bzw. im zuvor als Substrat 3, Löß, modellierten Bereich (vgl. Abb. 38).

Der Einbau von geländeklimatischen Variablen (EINSTR) erscheint in der aktuellen Modellierungsphase angebracht. Er findet aber nur in den beiden Schatthangteilmodellen statt. Besonders in diesem Schatthangbereich fällt auf, dass BFG 20 vornehmlich im steileren West- oder Osthang auftritt (Markierung S); dies ist aber nicht durch die Einstrahlungsvariable EINSTR bedingt, wie man annehmen könnte; die höchsten Werte von EINSTR finden sich auf den offen und hoch gelegenen, flachen Bereichen, weil dort in der Vegetationszeit tagsüber nahezu immer Einstrahlung herrscht. Diese Variable wird in dem Sinn eingesetzt, dass sie die „frischere“ BFG-Zahl fördert, wenn die Einstrahlung hoch ist! Beide Teilmodelle, in denen sie vorkommt, zeigen das.

Was beinhaltet die Variable EINSTR? Sie zeigt bei hohen Werten nur an, dass der Ort relativ lange beleuchtet wird, nicht aber stark und intensiv. Freiliegende Hochebenen und ähnliche Geländeauschnitte zeigen hohe Werte. Sie sind aber weitgehend flach und tragen deshalb eher mächtigere Lockermaterialdecken, die Feuchtigkeit speichern können und sind auch solche Orte, die wenig Wasserabfluß aufweisen. Insofern irritiert die Tendenz in der Verwendung von EINSTR zuerst, erscheint aber nach Abwägung der Konstellationen doch sinnvoll.

Dies ist ein Beispiel für die Gefahr, einer Variablen wegen ihres Namens („Einstrahlungsvariable“) ungeprüft eine bestimmte Wirkung zuzuschreiben. Das Fehlen der beiden anderen Einstrahlungsvariablen EINSTRMOD und EINSTRMODBES in den letzten Modellen spricht im übrigen ebenfalls dafür, dass die Einstrahlung tatsächlich wenig beeinflussend ist, zumindest dann, wenn ähnliche Variablen aus der Variablengruppen „Exponiertheit“ oder „Form-Lage-Index“ (5.2.4.1 und 5.2.3.10) verwendet werden.

SLOF und EXP2 sind im Festgesteinsbereich am aussagekräftigsten, SLODIS9 und EXP210 dagegen im Lößbereich. Dies spricht für die vorgestellte Aufteilung, nämlich die Unterscheidung nach Substrat 3 und 2456. Die Ähnlichkeit der beiden gewählten Variablenpaare läßt aber auch auf eine sinnvolle Zusammenlegung der Modelle schließen, was alternativ zu diskutieren ist.

Im Wechsel zwischen Schatt- und Sonnhang liegen seltenere BFG-Klassen mancherorts paarweise sinnvoll nebeneinander, so 20 neben 24 (Abb. 59, Markierung P). Die Verteilung im Raum erscheint insgesamt akzeptabel.

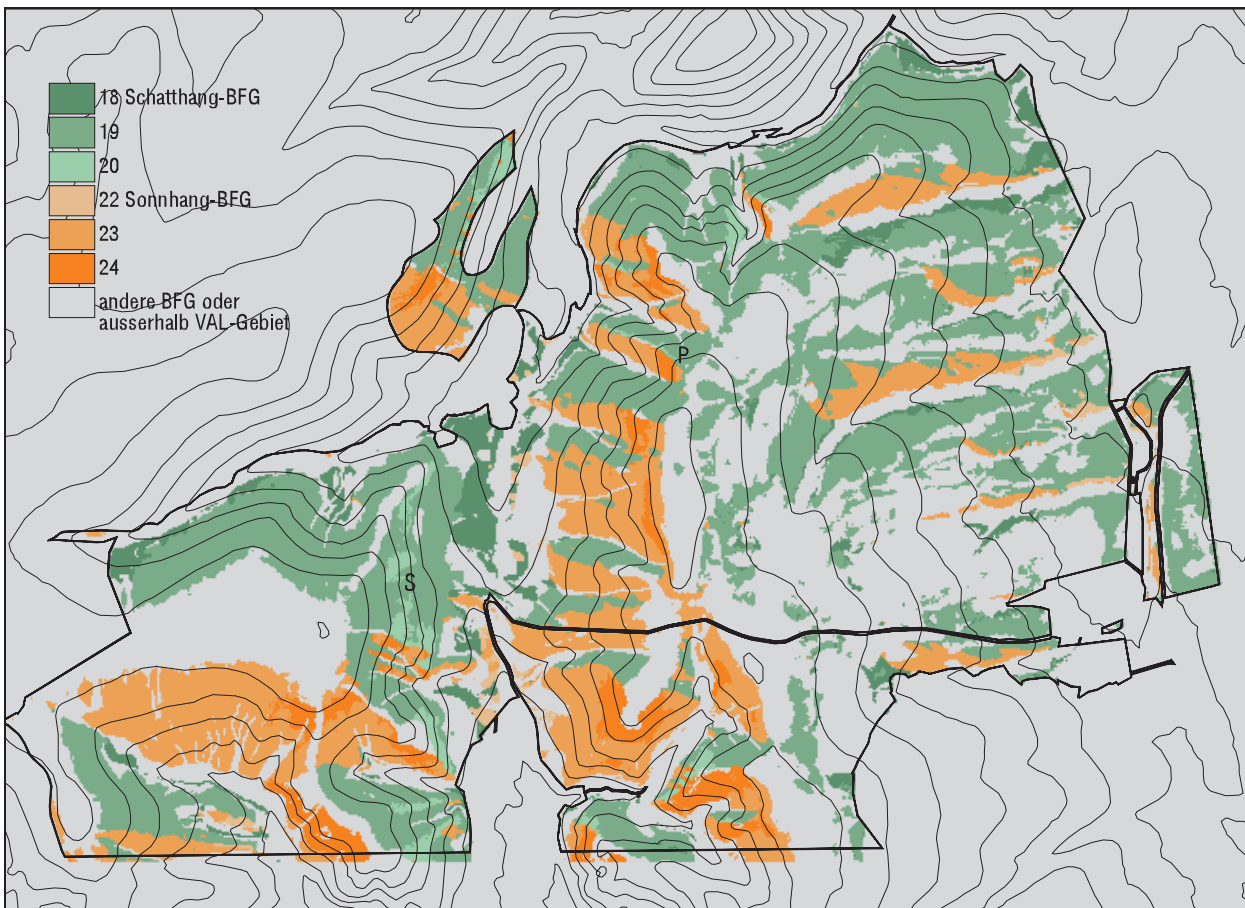


Abb. 59: Terrestrische BFG-Klassen der GFO-Klasse Hang in Substrat „Festgestein“ u. „Löß“, Ansatz 1. Maßstab 1:40.000. 20 m Äquidistanz. Ausschnitt 3548100 5729300 3555300 5734100.

Ansatz 2: Weitestgehende Zusammenfassung

Insgesamt werden in den vier Teilmodellen nur elf Variablen benutzt, wenn man die Anzahl auf je vier justiert. Theoretisch könnten es demnach sechzehn sein. Die Variablen SLOF - SLODIS9 und EXP2 - EXP210 sind insofern verwandt, als dass die ersten beiden die Neigungsverhältnisse und die beiden anderen die Exponiertheit umschreiben. Das spricht für eine Ähnlichkeit der Modelle. Ist es sinnvoll, die vier Teilmodelle zusammenzufassen? Ein substratübergreifendes Modell, was sechs Klassen (18, 19, 20, 22, 23, 24) trennen müßte, erscheint nicht angebracht, weil 20 und 24 schwerlich in Substrat 3 vorkommen werden. Somit bliebe nur eine hangrichtungsübergreifende Zusammenfassung, also der Aufbau von zwei statt vier Modellen. Dies ist, wie eingangs in diesem Abschnitt gezeigt, aber nicht sinnvoll, da mit der Existenz von Schatt- und Sonnhang und der Definition unterschiedlich vieler Klassen in den beiden Hangbereichen eine unterschiedliche standörtliche Ausstattung impliziert ist: Wenn die Datenbasis auf

Nach Trennung der frischeren Klasse (18 bzw. 22) bleiben zwei Modelle, um einerseits BFG 19 und 20 und andererseits 23 und 24 zu definieren:

- MN 28, Modell SCHHANG-BFG2: BFG 19 gegen 20 in Substrat 2456 (etwa je 2.400 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EXPNAH		0.05	0.04				
2	2	EINSTR		0.03	0.05				
3	3	FLI		0.04	0.04				
4	4	SLODIS17		0.02	0.02	0.87	0.13	35	siehe nächste Übersicht

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.02)

- MN 29, Modell SONHANG-BFG2: BFG 23 gegen 24 in Substrat 2456 (etwa je 5.200 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	TWIF		0.07	0.02				
2	2	SLOF		0.02	0.06				
3	3	EXP2		0.05	0.05	0.87	0.13	34	siehe nächste Übersicht

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.02)

Es fällt auf, in den drei BFG-Schatthangmodellen die Variable EINSTR anzutreffen: Es ist immer *diese* Einstrahlungsvariable und Einstrahlungsvariablen werden nicht im Sonnhangbereich verwendet. Zuvor in Ansatz 1 bei MN 24 (Substrat 3) und dem synchron arbeitenden Modell in Substrat 2456 wurde diskutiert, dass die frischere Klasse eher bei hohen Werten resultiert. In den Modellen MN 26 und MN 28, die im Prinzip eine Zerlegung des synchronen Modells in Ansatz 1 darstellen, verhält es sich entsprechend, was die überraschende Tendenz untermauert. In Abschnitt 8.2 werden Einstrahlungsvariablen abschließend besprochen.

Welcher Weg schließlich der bessere ist, ob synchron (Ansatz 1) oder schrittweise (Ansatz 3), d.h. in zwei oder vier Teilmodellen, ist erst nach Prüfung aller Trefferquoten unter Berücksichtigung der modellierten absoluten Ausdehnung der Klassen zu entscheiden. Folgende Übersicht zeigt die Reklassifikationsgüten der Teilmodelle des Festgesteinsbereichs.

Ansatz 1	Schatthang-BFG	Trefferquote %	Anmerkung zur Ausdehnung
	18	82	zu weit ausgedehnt
	19	46	etwas zu gering ausgedehnt
	20	58	etwas zu gering ausgedehnt
	Sonnhang-BFG		
	22	67	zu weit ausgedehnt
	23	38	etwas zu gering ausgedehnt
	24	62	etwas zu gering ausgedehnt

Ansatz 3	Schatthang-BFG	Trefferquote %	Anmerkung zur Ausdehnung
	18	89	etwas zu weit ausgedehnt
	19	64	etwas zu gering ausgedehnt
	20	66	etwas zu weit ausgedehnt
	Sonnhang-BFG		
	22	81	etwas zu weit ausgedehnt
	23	70	etwas zu weit ausgedehnt
	24	61	etwas zu gering ausgedehnt

Aus Gründen der Minimierung der Teilmodellanzahl müßte nach Ansatz 1 verfahren werden. Es zeigte sich aber, dass eine schrittweise BFG-Trennung im Festgesteinsbereich besser als eine synchrone ist. Diese Einschätzung beruht allerdings auf Reklassifikationsergebnissen und ist kein Garant für die gleiche Modellgüte bei unabhängiger Übertragung. Sie stützt aber die These, dass schrittweises Trennen mit spezifischen, besonders geeigneten Variablen günstiger ist als synchrones Trennen (6.1.5). Somit ergeben sich sechs BFG-Teilmodelle innerhalb der zweigeteilten Hänge der Substrate 2456 und 3. Eine Übertragung dieser Modelle auf das Validierungsgebiet zeigt Abb. 60.

In Substrat 3	In Substrat 2456
18 gegen 19	18 gegen 19U20
22 gegen 23	19 gegen 20
-	22 gegen 23U24
-	23 gegen 24

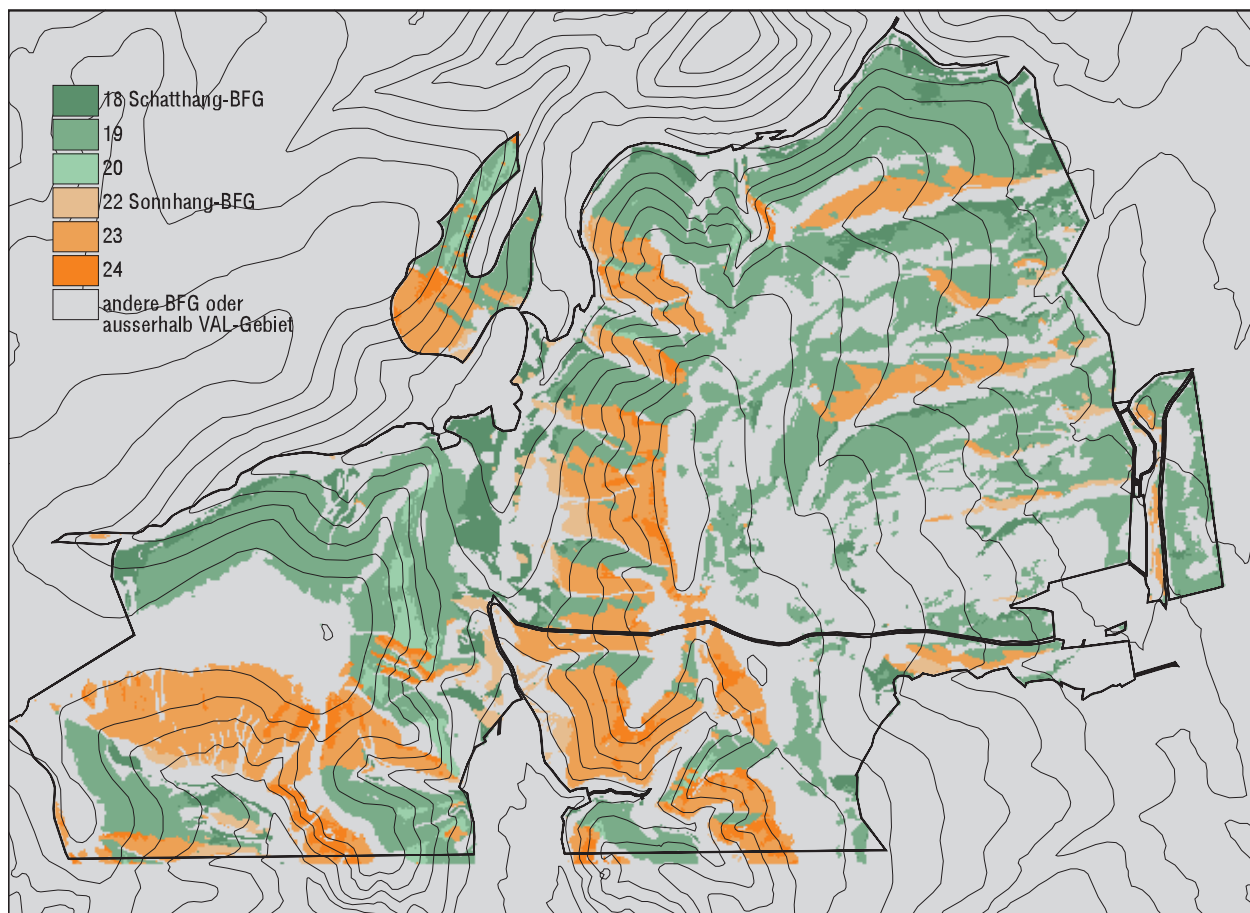


Abb. 60: Terrestrische BFG-Klassen der GFO-Klasse Hang in Substrat „Festgestein“ u. „Löß“, Ansatz 3. Maßstab 1:40.000. 20 m Äquidistanz. Ausschnitt 3548100 5729300 3555300 5734100.

Insgesamt sind die Unterschiede nicht markant, was nicht verwundert, da sechs der hier verwendeten Variablen zu den zehn Variablen gehören, die auch in Ansatz 1 auftraten. Desweiteren wurde etwa die gleiche Klassenausdehnung produziert. Im Lößbereich (Substrat 3) sind ohnehin die selben zwei Modelle benutzt worden. Unterschiede zu der Klassenverteilung nach Ansatz 1 bestehen aber:

BFG 22 liegt nahezu genauso im Raum wie bei Ansatz 1. BFG 24 ist hingegen bei fast gleicher absoluter Ausdehnung anders ausgeformt. Dies hängt offensichtlich mit der Nutzung der Variablen TWIF zusammen, die linienhaft in konvexen Bereichen geringe Werte aufweist und dort für die trockenere Hangklasse

sorgt. Dies bewirkt indirekt natürlich eine auch abweichende Lage der Klasse 23, die zwischen 22 und 24 steht.

Die trockenere Schatthang-BFG-Klasse 20 findet sich wie bei Ansatz 1 in den steileren, relativ hoch liegenden Bereichen. Hier erscheinen ihre Vorkommen etwas kompakter ausgeformt zu sein. Der Vergleich weist zwei gleiche und zwei abweichende beteiligte Variablen aus. Der Charakter der beiden abweichenden Variablen läßt aber nicht erkennen, warum die Ausformung unterschiedlich ist.

Interessant ist, dass auch hier wie in Ansatz 1 eine Einstrahlungsvariable, nämlich EINSTR, nur zur Diskrimination im Schatthangbereich verwendet wird.

Zwischenergebnis zur Modellierung der terrestrischen Hang-BFG-Klassen

Zwar sprechen die Reklassifikationsergebnisse deutlich für ein schrittweises Trennen der sechs BFG-Klassen am Hang, aber im Kartenbild des Validierungsgebietes -in Relation zu den Höhenlinien- sind beide Ansätze etwa gleichermaßen akzeptabel. Trotz leicht erhöhter Modellanzahl wird für schrittweises Trennen plädiert (Ansatz 3), da die Modellaufstellung dies unterstützt.

Exkurs: Variablenwahl in Hangbereichen

Es zeigt sich, dass bei der BFG-Differenzierung in Schatt- und Sonnhang unterschiedliche Variablen verwendet werden. Dies könnte damit zusammenhängen, dass die Hänge im Schattenbereich im zugrundeliegenden Datensatz z.B. aufgrund der tektonischen Verhältnisse anders ausgeformt sind als im besonnten Bereich. Das kann anhand der Ergebnisse einer Clusteranalysen in den beiden Hangpartien geprüft werden. Wenn die Clusteranteile deutlich unterschiedlich groß sind, sind die Hänge unterschiedlich ausgeformt und dies könnte zu unterschiedlicher BFG-Klassenkartierung geführt haben. Hier wurden nochmals die für andere Teilmodelle produzierten Cluster verwendet (vgl. 7.1.2.2).

Cluster:	1	2	3	4	.	1	2	3	4
Schatthang 18 19 20	534 ha	1136 ha	328 ha	563 ha	.	21 %	44 %	13 %	22 %
Sonnhang 22 23 24	704 ha	1300 ha	509 ha	888 ha	.	21 %	38 %	15 %	26 %

Es zeigt sich aber eine starke Ähnlichkeit der Clusterverteilung sowohl absolut als auch relativ. Insofern ist eine gute Vergleichbarkeit der Modellierung der terrestrischen BFG-Hangpartien gegeben. Unterschiedliche Variablenwahl ist so durch unterschiedliche standörtliche Wertung der Hänge bedingt.

7.3.4 Terrestrische BFG innerhalb GFO-Bereich „Ebene“

Zuvor war hergeleitet worden, innerhalb der Hänge und Ebenen auch die STW-BFG-Klassen 12, 13, 14 und 15 auszuweisen und nicht nur die terrestrischen BFG-Klassen. Die GFO-Klasse Stauwasser 1215 wurde zugunsten ihrer BFG-Klassen aufgelöst (7.2.10). Innerhalb der Hänge blieb, nachdem die Stauwasserklassen bekannt waren, die Trennung der terrestrischen BFG-Klassen 18 bis 20 und 22 bis 25. Hier verbleiben die terrestrischen BFG-Klassen 9, 10 und 11 (vgl. Tab. 5). GFO Ebene ist sowohl in Substrat 3 „Lösse“ als auch in Substrat 2456 „Festgestein“ angelegt. Konform zu dem mehrstufigen, verschachtelten Ansatz müßten mindestens zwei Teilmodelle formuliert werden.

Die weniger frischen BFG-Klassen 10 und 11 dürften wegen der Eigenschaften von Substrat 3 darin ohnehin kaum vorkommen, wie auch die Daten zeigen. In Substrat 7 wurde die gesamte GFO-Klasse Ebene (911) abgelehnt, da sie darin extrem selten vorkommt.

Tab. 56: Kartierte BFG-Klassen der Ebenen im Bereich von Substratklassen (ha).

SUB / BFG	9, frisch u. vorratsfrisch	10, mäßig bis kaum frisch	11, mäßig sommertrocken bis trocken
2	369	53	
3	223		
4	20	5	1
5	7		
6	15	2	
7	4		

Substrat 2, 4, 5 und 6 sind zu „Festgestein“ (2456) zusammengefaßt (7.1.2). Dann ergibt sich die Möglichkeit, zumindest die Trennung von BFG 9 und 10 anzugehen. Es ist aber zu prüfen, aus wievielen Flächen die 60 ha der BFG-Klasse 10 in Substratbereich 2456 aufgebaut sind: Da immerhin 23 Flächen vorkommen, kann man Trennbarkeit annehmen. Zu fragen ist, warum sich die frischeren von den weniger frischen Ebenen mit Hilfe geomorphologischer Variablen trennen lassen sollten: Da Neigung auch in Ebenen variiert, sind auch Senken und Höhen zu finden; sie könnten frischer bzw. trockener sein.

- BFG 9 gegen 10 in Substrat 2456 (etwa je 5.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	PATLENFW		0.12	0.08				
2	2	FLI-I		0.03	0.03	0.85	0.15	30	BFG 9 zu wenig ausgedehnt

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.02)

(Hinweis: Höhe, Einstrahlungs- und Windexponiertheitsvariablen nicht zur Verwendung bereitgestellt)

Die Trennbarkeit der beiden Klassen ist gering, wie die ASCC zeigt. Ob eine Plausibilität der Klassenverteilung erreicht werden kann, wurde anhand des Validierungsgebietes geprüft. Im Validierungsgebiet tritt BFG 10 nur minimal und BFG 11 nicht auf. Insofern ist ein Modell nur in dem Sinn zu testen, dass geprüft wird, ob dort wider Erwarten diese beiden BFG modelliert werden. Diese Sichtweise gilt für alle Klassen, die im Validierungsgebiet nicht vorkommen.

Wieder wurden für das Validierungsgebiet testweise *a-priori*-Werte eingesetzt, die in diesem Fall eine geringe Ausdehnung der Klasse 10 hervorbringen sollten. Wie bei allen Modellen, die bereits bei ihrer Aufstellung darauf schließen lassen, dass sie nicht stabil sind -die Klassen lassen sich nicht gut trennen- müssen *a-priori*-Werte eingesetzt werden, die weit von den angestrebten Anteilswerten liegen. Hier wurde die Klasse 10 nur dann in einer nennenswerten Ausdehnung modelliert, wenn ihr *a-priori*-Wert auf 40 % hochgesetzt wurde. Dies ist positiv zu werten, weil tatsächlich kaum BFG 10 vorkommt. Aber die Lage von BFG 10 im Raum ist nicht leicht zu akzeptieren; sie liegt zwar relativ weit „oben“ soweit das in der GFO-Klasse Ebene möglich ist, aber nicht in den etwas exponierten höchsten Lagen. Kongruenz zur Kartierung liegt nicht vor. Hier entsteht der Eindruck, die Trennung der beiden Klassen könne mit diesen Basisdaten und den beiden geomorphologischen Variablen nicht erreicht werden; das Teilmodell wird verworfen.

Demnach ist das Substrat vermutlich der stärker bestimmende Faktor. Knapp 20 % der kartierten Lagerungsklasse 22 entfällt auf die trockenere BFG Klasse 10, aber nie ist Lagerung 23 mit BFG 10 kombiniert. Die Trennung von SUBLAG 22 und 23 war über die Bestimmung der Mächtigkeit der Decken ausgeführt worden (7.1.4.2). Insofern wird hier wieder etwas ähnliches versucht, denn Deckenmächtigkeit bestimmt sowohl die Lagerungsklasse als auch die BFG-Klasse. Da Lagerung 22 ein

Problemstandort ist, weil er flachere Feinbodendecken oder tiefere weniger verlehnte Decken erlaubt (vgl. Tab. 3), ist hier nicht eindeutig zu erkennen, welches Merkmal den Frischegrad lenkt. Geringerer Verlehmungsgrad, der das eigentliche Substratmerkmal ist und kaum über die geomorphologischen Variablen hergeleitet werden kann, wird mitentscheidend sein.

Da fast alle Polygone von BFG 10 außerhalb der mit GK25-Information versehenen Fläche liegen, kann die Eignung der Variablen der abgeleiteten Eigenschaften nicht getestet werden. Ansonsten wäre eine Variable der „Intensitäten der Eigenschaften im EZG“ bzw. der Decke zu prüfen (7.1.4.1.12), und zwar DEC-S-INT, die den potenziell erhöhten Sandgehalt einer Decke beschreiben soll.

Status 8	Substratklassen bzw. Lagerungsklassen	GFO-Klassen	BFG-Klassen () theoretisch vorhanden, nicht modelliert
	1	-	-
2456	12346	-	-
	578	-	-
	911	9 (10) (11) (12) 13 14 (15) 17 21	
	1725	(12) 13 14 (15) 17 18 19 20 21 22 23 24 (25)	
	2627	-	-
	2829	-	-
3	12346	-	-
	578	-	-
	911	9 (10) (11) (12) 13 14 (15) 17 21	
	1725	(12) 13 14 (15) 17 18 19 (20) 21 22 23 (24) (25)	
7	12346	-	-
	578	-	-
11 - 74	-	-	-

7.3.5 BFG innerhalb GFO-Bereich „schmales Tal“

Zwei Tal-Geländeformklassen wurden zuvor modelliert: Tal_{schmal} und Tal_{grw}, die relativ schmalen Täler und die i.d.R. breiteren grundwasserbeeinflussten Täler (7.2). Beide kommen in den drei Substratklassen Festgesteine, Lössen und Kolluvien/Alluvien, die zuerst ausgewiesen wurden, vor (7.1.2). Im Fall der Substratklasse 7 sind nur diese beiden GFO-Klassen erlaubt worden. Es besteht folgende Matrix, in der die maximale Anzahl der jetzt anstehenden Modelle eingetragen ist:

GFO / Substrat	Festgestein	Lössen	Kolluvien
	2456	3	7
Tal _{schmal} 12346	4	4	4
Tal _{grw} 578	2	2	2

GFO Tal_{schmal} ist in bis zu fünf und GFO Tal_{grw} in bis zu drei BFG-Klassen zu trennen. Würde die Datenbasis alle BFG-Klassen mit genügend Flächen enthalten und würde jede Klasse jeweils von den „Anderen“ schrittweise getrennt, ergäben sich achtzehn Modelle. Einige Kombinationen von Substrat und BFG sind aber äußerst unwahrscheinlich und würden auch bei einer sehr viel größeren Datenbasis nicht vorkommen. Hier ist an schluchtartige Täler (BFG 1 und 2) vor allem in Kombination mit den Kolluvien zu denken, aber auch an die Kombination mit den Lössen (3). Umgekehrt wäre es sinnvoll, die Datenbasis mit der Kombination BFG 1 und 2 und „Festgestein“ auszustatten, da in Anwendungsgebieten derartige Standorte auftreten werden.

Welche der maximal achtzehn Modelle sind im Gesamtkontext notwendig, welche sind auf der vorhandenen Datengrundlage formulierbar? Welche Klassen sollten entgegen der allgemeinen Schematisierung (6.1) zusammengefaßt werden?

Auch hier greift wieder das übergeordnete Problem, dass im Vergleich bestimmter Einheiten die Untereinheiten nicht zu gleichen Anteilen vorkommen. BFG 3, das kerbtalähnliche schmale Tal, wird beispielsweise innerhalb Substrat 2456 häufiger sein als innerhalb Substrat 3. Da bei Modellübertragung die Klassengröße per *a-priori*-Werten aber nur pauschal gesteuert wird, kann diese Unterschiedlichkeit nicht umgesetzt werden. Insofern muss die Zusammenlegung der drei Substratklassen unterbleiben.

In 7.2.6 war aber dargelegt worden, Tal-GFO-Klassen in den zusammengelegten Substraten 3 und 7 zu modellieren. Damit wurde erlaubt, dass GFO-Klassen Substratklassen überschreiten können, d.h. an einer Grenze zwischen Substrat 3 und 7 muss nicht zwangsläufig auch eine GFO-Grenze auftreten. Konsequenterweise muss diese Zusammenfassung fortgeführt werden. Ein Zurückschalten auf höhere Separierung ist nicht denkbar, weil sonst bei den zwei benachbarten Substraten trotz gleicher GFO-Klasse verschiedene BFG-Klassen modelliert werden könnten und ein starkes Streuen der BFG-Klassen zu befürchten ist. Somit ist eine Zusammenlegung nach dem Substrat klar.

Kaum diskutabel ist aber eine Zusammenlegung auch nach GFO-Klassen: In dieser Situation wären acht Klassen (BFG 1 – 8) voneinander zu trennen. Diese acht sind aber durchaus in zwei Gruppen trennbar gewesen (7.2), wie die Existenz der beiden GFO-Klassen 12346 und 578 zeigt. Dass GFO 578 Grundwasserstandorte umfasst ist das Besondere, was mit der unterschiedlichen Lage im Relief gegenüber 12346 einhergeht. Insofern soll die Gliederung in beide GFO-Bereiche beibehalten werden.

BFG-Klassen innerhalb Substrat Festgestein (2456):

Die BFG-Klasse 6 (Quellstandorte) stellt eine Besonderheit dar. Warum sie in GFO 12346 enthalten ist, wurde in 7.2.1 dargelegt. Nach den Definitionen im GÖS (Tabelle im Anhang) sind sicherlich einerseits BFG 1 und 2 im Gelände ähnlich positioniert und andererseits BFG 3, 4 und 6. BFG 1 und 2 voneinander zu trennen ist wegen der geringen Vorkommen dieser beiden Klassen schwerlich möglich und wegen der standörtlichen Ähnlichkeit wenig nötig (Tab. 5).

Nur sechs Flächen der Datenbasis bilden BFG 1 und 2. Drei dieser Flächen liegen in den unteren, zerschnittenen Bereichen des Bramwaldes, drei am Harzrand. Diejenigen am Harzrand sind in Relation zum Höhenlinienbild unpassend plaziert. Dass BFG 1 und 2 an geomorphologisch nicht erklärbaren Orten zu finden ist, ist durch den Charakter dieser Standorte zu erklären: Auch anthropogene Einschnitte können so klassifiziert werden. Deshalb wurde das Teilmodell nur mit den Bramwald-Standorten 1 und 2 aufgebaut.

Es sind nun zwar extrem wenige Flächen, die benutzt werden, aber bei sinnvoller Lage der Klassen und der Ergebnisse kann so vorgegangen werden. Ein Test mit allen Variablen ergab aber teilweise eine unbrauchbare Variablenzusammenstellung. Deshalb wurden nur die Neigung, die Form-Lage-Indizes und die Variablen der weiteren und der näheren Umgebung vorgegeben und die Schwellenwerte erhöht:

- MN 30, Schritt 1: BFG 1u2 gegen 3u4u6 in Substrat 2456 (etwa je 1.200 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EXP2		0.23	0.13				
2	2	SLOF		0.10	0.10	0.69	0.31	27	

(Hinweise: BFG 6 im Datensatz unterproportional vertreten. pR²entry und pR²stay 0.1. Etwa die Hälfte aller Variablen für dieses Modell nicht zur Verwendung bereitgestellt. Höhe, Neigungsrichtungs-, Wind und Einstrahlungsvariablen im Abschnitt der BFG-Taldifferenzierung nicht zur Verwendung bereitgestellt.

Die Fehlquote ist mit 27 % bei Reklassifikation günstig. Dies sollte aber nicht überbewertet werden, weil nur wenige Flächen der BFG-Klassen 1 und 2 vorkommen und in so eindeutigen Reliefpositionen mit anschließenden steilen Hangbereichen liegen, dass diese Reklassifikation nicht verwundert.

Im nächsten Schritt sind BFG 3, 4 und 6 zu trennen. Ist BFG 6 der Klasse 3 oder 4 ähnlicher; dies ist konform dem übergeordneten Ansatz zu prüfen:

BFG 6 kommt in der Datenbasis auf knapp 9 ha, verteilt auf vierundzwanzig Flächen, vor. Dies bezieht sich aber auf alle Substrate. Innerhalb Substrat 2456 treten nur knapp 3 ha auf. Es erübrigt sich, die Trennung von BFG 6 gegen die zusammengefassten Klassen 3 und 4 zu testen, weil 3 und 4 standörtlich sicher unterschiedlicher sind als die beiden anderen eventuell zusammenzufassenden Klassen. Testweise Trennung einzelner Klassen ergibt (beide hergeleitet mit pR²E und pR²S 0.02):

BFG 3 gegen 6: ASCC 0.45, Wilks' Lambda 0.55

BFG 4 gegen 6: ASCC 0.33, Wilks' Lambda 0.67

Demnach läßt sich BFG 3 besser als 4 von BFG 6 trennen. Das ist einzusehen, denn BFG 4 ist eher ein Hangmuldenstandort und die Quellstandorte (6) finden sich vornehmlich in solchen Hangmulden, aber weniger in tief eingeschnittenen Tälern, wie sie von BFG 3 nachgezeichnet werden. Daraus folgt, im nächsten Schritt BFG 3 von den zusammengelegten BFG 4 und 6 zu trennen, danach im dritten und letzten Schritt die Klassen 4 und 6.

- MN 31, Schritt 2: BFG 3 gegen 4u6 in Substrat 2456 (etwa je 600 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	HOEDIFTIE		0.19	0.07				
2	2	EZGFFFW		0.02	0.02	0.79	0.21	29	

Je größer das EZG (EZGFFFW) und je geringer die Höhendifferenz zur Tiefenlinie (HOEDIFTIE) desto eher ergibt sich BFG 3. Dies ist plausibel, da die tiefer eingeschnittenen, schmalen Täler eher „unten“ im Talverlauf zu finden sind.

- MN 32, Schritt 3: BFG 4 gegen 6 in Substrat 2456 (etwa je 300 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCTIEW		0.18	0.22				
2	2	EXPSUMNAH		0.11	0.11	0.73	0.27	25	

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.04)

Wo wird mit dieser Diskrimination eher BFG 6 als BFG 4 ausgewiesen? Die Klassifikationsgleichungen signalisieren, dass die Quellstandorte (6) in den eingetiefteren Lagen (nach EXPSUMNAH) zu erwarten sind, was plausibel ist. Aber EUCTIEW wird in dem Sinn verwendet, dass BFG 6 in größerer Entfernung zu den Tiefenlinien vorkommt als BFG 4. Dies wirkt widersprüchlich oder zumindest nicht nachvollziehbar. Es

ist zu bedenken, dass BFG 4 im Prinzip in der Tiefenlinie selbst auftreten wird, BFG 6 allerdings als „Quelle“ für die Täler „abseits“ von den Haupttiefenlinien. So gesehen ist die Variablenwahl bzw. deren Klassifikationstendenz akzeptabel. Allerdings sind dies nur vage Deutungen, denn BFG 6 kommt nicht so oft vor, als dass hier sichere Zusammenhänge postuliert werden könnten.

Es ergaben sich also innerhalb Substrat 2456 drei BFG-Modelle: 1u2 gegen 3u4u6

3 gegen 4u6

4 gegen 6

BFG-Klassen innerhalb Substrat Löss (3) und Kolluvien (7):

Innerhalb Substrat 7 wurde die BFG-Klasse 6 nicht kartiert. Insofern kann kein vollständig symmetrischer Datensatz, der aus der gleichen Anzahl von Zellen je Klassenkombination folgender Übersicht bestehen würde, aufgebaut werden:

BFG / Substrat	Löss 3	Kolluvien 7
Kerbtal 3	x	x
Muldental 4	x	x
Quellstandort 6	x	-

Forststandörtlich ist es aber möglich, dass BFG 6 innerhalb Substrat 7 auftritt. Ein Quellaustritt, eine Vernässung, kann sowohl in den Lockermaterialien der Löss als auch der Kolluvien zu finden sein. Deshalb darf das hier aufzustellende Modell Substrat 3 und 7 zusammengefasst behandeln; es muss nicht verhindert werden, dass durch die Zusammenfassung BFG 6 in Substrat 7 auftauchen könnte.

Da in dieser Situation nur drei Klassen zu diskriminieren sind, besteht die Vermutung, sie synchron modellieren zu können. Dies würde eine Verringerung der Teilmodelle bedeuten. Im vorherigen Abschnitt kristallisierte sich allerdings die Modellierungsreihenfolge BFG 3 – 4 – 6 heraus. Auch hier ist anzunehmen, dass BFG 3 in den engeren, steileren Tälern häufiger auftritt als BFG 4 oder 6. Diese beiden werden mutmaßlich gleichermaßen in flacheren Hangmulden plaziert sein (pR^2E und pR^2S 0.04).

BFG 3 gegen 6: ASCC 0.43, Wilks' Lambda 0.57

BFG 4 gegen 6: ASCC 0.29, Wilks' Lambda 0.71

In der Tat zeigt sich wieder die bessere Trennbarkeit von BFG 3 gegenüber 6 als BFG 4 gegenüber 6. Deshalb sollte mit BFG 3 begonnen werden. Es dient auch der Übersichtlichkeit, hier nun ebenso wie innerhalb Substrat 2456 vorzugehen. Im zweiten und letzten Schritt sind die Klassen 4 und 6 zu trennen:

- MN 33, Schritt 1: BFG 3 gegen 4 und 6 in Substrat 3u7 (etwa je 1.200 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR^2E	pR^2S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCHANG		0.20	0.08				
2	2	FLI-I		0.03	0.04				
3	3	EZGFFFW		0.03	0.03	0.75	0.25	28	BFG 3 etwas zu weit ausgedehnt

(Hinweis: pR^2entry und pR^2stay 0.02)

Hier fördert ein größeres EZG (EZGFFFW) und eine tiefere Hangposition (EUCHANG) BFG 3, was sinnvoll scheint. Allerdings fördern höhere Werte von FLI-I, also offenere Lage, die Talklasse 3 ebenso, ohne dass dies einleuchtet. Hier muß darauf hingewiesen werden, dass durch die Kombination dreier Variablen BFG 3 nicht in wirklich „offenen“ Lagen auftreten kann und dies auch durch die vorgeschaltete Modellierung von Substrat 3U7 bereits entsprechend gesteuert wurde. Das Modell in seiner Gesamtheit agiert sinnvoll.

- MN 34, Schritt 2: BFG 4 gegen 6 in Substrat 3U7 (etwa je 600 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	FLI		0.18	-				
2	2	SLODIS9		0.06	0.08				
3	3	PATHOELENQUO		0.04	0.17				
4	2		FLI	-	-				
5	3	EZGFFFW		0.06	0.06	0.71	0.29	29	BFG 4 etwas zu weit ausgedehnt

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.04)

Obwohl der ASCC-Wert hier etwas besser ist als im vorangestellten Modell, ist die *error rate* etwas schlechter. Dies ist möglich, weil die *error rate* aus den beiden *rates* der Klassen gemittelt wird und das bei über- und unterproportionaler Ausweisung der Klassen nicht alleinig aussagekräftig ist. Daher wurden unter „Besonderheiten“ Abweichungen von der Vorgabeausdehnung vermerkt (vgl. 6.2.2).

Drei Variablen verbleiben im Modell, nachdem FLI eingesetzt und wieder ausgetauscht wurde: SLODIS9, PATHOELENQUO und EZGFFFW.

Bei diesen schwer trennbaren Klassen ist wie schon zuvor zu prüfen, ob die Variablen sinnvoll agieren, d.h. ob BFG 6 als quelliger Bereich eher an „relativ weit unten“ liegenden Orten zu erwarten ist:

Je steiler der Hang oberhalb Z0 (PATHOELENQUO) und je größer das EZG (EZGFFFW) und je kleiner die Distanz zu flach geneigten Bereichen (SLODIS9), desto eher wird BFG 6 auftreten, zeigen die Klassifikationskoeffizienten an. Alle Tendenzen erscheinen hier sinnvoll.

Es ergaben sich also innerhalb Substrat 3 und 7 zwei BFG-Modelle: 3 gegen 4U6

4 gegen 6

Zuvor waren drei Modelle notwendig, um innerhalb Substrat 2456 zu differenzieren. In den insgesamt fünf Modellen werden folgende Variablen verwendet: SLOF, EZGFFFW, EUCKUPW, EUCTIEW, EUCHANG, EXPSUMNAH, HOEDIFTIE, FLI-I, SLODIS9, PATHOE, PATLENF, PATHOELENQUO.

Übertragung auf das Validierungsgebiet:

Die Übertragung, die zur Prüfung der Diskrimination dient, wird zusammen mit den BFG-Klassen der GFO-Klasse 578 im nächsten Abschnitt vorgestellt.

7.3.6 BFG innerhalb GFO-Bereich „grundwasserbeeinflusstes Tal“

Die aktuelle Situation und Strukturierung vorgeschalteter Standortklassen der Komponenten Substrat und Geländeform wurde zu Anfang des vorherigen Abschnitts erläutert. Folgende Übersicht zeigt die Anzahl kartierter BFG-Flächen von GFO 578 in drei Substratklassen.

BFG	Festgestein 2456	Lösse 3	Kolluvien 7
5 (GRW u. GOF 60-100 cm)	14	20	42
7 (GRW u. GOF 100-140 cm)	1	2	53
8 (GRW u. GOF >140 cm)	14 (12 SUB 2, 2 SUB 5)	27	35

Zwei Probleme werden zu klären sein, und zwar welche Substratklassen zusammenzulegen sind und ob BFG 7 modellierbar ist.

BFG-Klassen innerhalb Substrat Festgestein (2456):

Modelltechnisch scheint die Verteilung der BFG-Klassen 5 und 8 in Substrat Festgestein günstig, denn die beiden „extremere“ Klassen mit niedrigem und hohem Grundwasserstand sind vorhanden, die mittlere fehlt fast (vgl. Tab. 5 und Tabelle im Anhang). Somit könnten die hohen und die niedrigen Grundwasserstände festgelegt werden. Allerdings ist BFG 8 nur an wenigen Orten vertreten, obwohl die Anzahl von 14 Flächen nicht gering ist. Dies verschlechtert die Modellaufstellung. BFG 7 blieb unberücksichtigt, da zu wenige kartierte Flächen vorkommen. So gibt es nur einen Schritt:

- MN 35, BFG 5 gegen 8 in Substrat 2456 (etwa je 750 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCTIEW		0.41	0.48				
2	2	PATHOELENQUO		0.17	0.09				
3	3	EUCKUPW		0.14	0.13				
4	4	EXP2		0.07	0.16				
5	5	FLI-L		0.10	0.10	0.35	0.65	9	-

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.05)

Auffällig ist die Anzahl von fünf Variablen, die hier trotz hoher Eintritts- und Verbleibschwelen von 0.05 als relevant erkannt wurden. Auch die pR²S-Werte sind nach Abschluß der Variablenwahl hoch. Warum die Distanz zu Tiefenlinien EUCTIEW so bedeutsam ist, läßt sich nicht leicht erschließen, denn beide BFG-Klassen 5 und 8 sind talgebundene Klassen. Dieser Sachverhalt wurde auch bei der Trennung von BFG 4 und 6 im Abschnitt zuvor besprochen. Je grösser die Distanz zur Tiefenlinie, desto eher ergibt sich BFG 8, zeigt die Klassifikationsfunktion; zumindest diese Tendenz erscheint plausibel, denn bei geringer Distanz ist anzunehmen, dass der Grundwasserstand hoch ist, also eher BFG 5 resultiert.

EXP2 agiert nicht entsprechend der Erwartung, denn bei Verwendung der fünf Variablen wird BFG 8 tendenziell in die weniger exponierten Bereiche gedrängt. Diese Klasse ist aber in „weiteren“ Talbereichen zu erwarten, weil dort das Grundwasser weniger stark gezwungen ist, oberflächennah anzustehen. EXP2 agiert allerdings in diesem Sinn „richtig“, wenn sie allein ohne die vier anderen Variablen verwendet wird. Hier zeigt sich die schwierige Interpretierbarkeit bei Linearkombination mehrerer Variablen (vgl. 6.2.1).

Die geringe Fehlquote von 9 % läßt auf eine nur scheinbare Modellierbarkeit schließen, die sich aus der Verteilung der wenigen BFG-8-Flächen auf nur wenige Orte ergibt. Bei diesem schwierigen Sachverhalt müßte die Modellierbarkeit geringer sein. Plausibilität kann abschließend nur anhand des Validierungsgebietes geprüft werden.

Zur weiteren Festlegung des im Gesamtkontext geeignetsten Vorgehens wurden zwei Tests eingeschaltet:

BFG-Klassen innerhalb Substrat Löß (3):

BFG-Klasse 7 wurde ignoriert, da zu wenige kartierte Flächen vorkommen. Es gibt nur einen Schritt.

- BFG 5 gegen 8 in Substrat 3 (etwa je 2.400 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCTIEW		0.37	-				
2	2	PATHOE		0.17	0.12				
3	3	SLODIS9		0.07	0.08				
4	4	SLODIS17		0.13	0.20				
5	3		EUCTIEW	-	-				
6	4	HOEDIFTIE		0.10	0.10	0.4	0.6	13	BFG 5 zu weit ausgedehnt

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.05)

Zwar ist die Trennbarkeit recht hoch, aber die gewählten Variablen sind andere als im vorangestellten Modell. EUCTIEW ist anfangs wie im Festgesteinsmodell sehr bedeutsam (pR²E 0.37), wird aber nach Einbau der Variablen „Distanz zu Zellen größerer Neigung“ wieder ausgeschlossen. Dies spricht für eine Trennung der Modelle nach Substratklassen.

BFG-Klassen innerhalb Substrat Kolluvien (7):

BFG-Klasse 7 wurde vorerst ignoriert, um vergleichbare Teilmodelle zu erzeugen.

- BFG 5 gegen 8 in Substrat 7 (etwa je 3.500 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	FLI-IL		0.08	0.08	0.92	0.08	35	BFG 5 zu weit ausgedehnt

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.05)

Setzt man die gleichen Schwellenwerte wie bei den beiden vorangegangenen Modellen an, so wird nur FLI-IL gewählt. Der ASCC und die Reklassifikationsgüte sind deutlich schlechter. Eine *error rate* von 50 % wäre zu erreichen, wenn man die Klassen rein zufällig vergeben würde; hier ist das Ergebnis nicht sehr viel besser (35 %). Werden testweise weniger strenge Schwellenwerte benutzt, so treten viele Variablen in das Modell, die *error rate* bleibt aber mäßig. Beides spricht für eine besonders geringe Trennbarkeit der beiden Klassen.

Die recht hohe Anzahl der BFG-Flächen innerhalb Substrat 7 würde die Möglichkeit bieten, zusätzlich zu testen, ob schrittweises oder synchrones Trennen angebracht ist (vgl. 6.1.5). Da sich in Substrat 7 bereits die beiden „extremere“ Grundwasserklassen schlecht trennen lassen, ist eine noch schwierigere Trennbarkeit der vorerst zurückgestellten Klasse 7 von 5 bzw. von 8 zu erwarten. Es ist in diesem Sinn überflüssig zu testen, ob eine bestimmte Trennreihenfolge innerhalb Substrat 7 für BFG 5, 7 und 8 eingehalten werden sollte.

Eine Alternative wäre, BFG 7 in der Folge ganz zu ignorieren. Dies hätte zumindest den Vorteil, eine Symmetrie gegenüber dem Teilmodell in Substrat 2456 aufzubauen. Andererseits ist BFG-Klasse 7 so häufig vertreten, dass man sie verwenden sollte.

Bei einer Zusammenlegung von Substrat 3 und 7, wie sie generell propagiert wird, ist BFG 7 fast nur aus Probanden der Substratklasse 7 aufgebaut. Dies wird eine schlechte Trennbarkeit auch in dem zusammengelegten Datensatz hervorbringen.

7.3 Wasserhaushalt: Bodenfeuchtigkeit und Geländeform (BFG) innerhalb der GFO-Bereiche

Da bereits GFO-Klassen substratübergreifend (3 und 7) modelliert wurden (7.2), kann hier ohnehin keine sinnvolle separate BFG-Modellierung in Substrat 3 und 7 durchgeführt werden. In Substrat 3 kommt in der Datenbasis kaum BFG 7 vor, in Substrat 7 hingegen oft. Wenn dies standörtlich begründet wäre, könnten Modelle für Substrat 3 und 7 nicht zusammengelegt werden. Es gibt aber keinen Grund, warum in Lössbereichen der Grundwasserstand nicht zwischen 100 und 140 cm u. GOF schwanken sollte, zumal die beiden BFG-Klassen 5 und 8 häufig auftreten. Trotz der genannten Probleme lautet das hier aufzubauende Modell wie folgt.

- MN 36, BFG 5 gegen 7 gegen 8 in Substrat 3U7 (etwa je 1.600 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCTIEW		0.15	0.08				
2	2	SLOF		0.08	0.08				
3	3	FLI-IL		0.04	0.05				
4	4	EXP2		0.04	0.04				
5	5	EZGFFF		0.03	0.03	0.69	0.31	43	BFG 5 zu weit ausgedehnt

(Hinweis: pR²entry und pR²stay 0.02)

Die Fehlquote ist, wie nach der Modellierung innerhalb Substrat 7 zu erwarten, hoch. Auch ist der Austausch zwischen den drei Klassen relativ weit gestreut, BFG 5 fällt des öfteren im Modell auf BFG 8 und umgekehrt (nicht in Übersicht). Der Austausch findet nicht nur zwischen Nachbarklassen statt. Akzeptierbarkeit kann nur bei Modellübertragung auf das Validierungsgebiet geprüft werden.

Schließlich resultieren im GFO-Bereich 578 „Grundwassertäler“ nur zwei Modelle:

In Substrat 2456: 5 gegen 8

In Substrat 3U7: 5 gegen 7 gegen 8, synchron

Sie verwenden acht Variablen: SLOF, EZGFFF, PATHOELENQUO, EUCTIEW, EUCKUPW, EXP2, FLI-L, FLI-IL.

Übertragung auf das Validierungsgebiet (vgl. Abb. 61 und Karte 4b):

Die Übertragung, die zur Prüfung der Diskrimination dient, wird zusammen mit den BFG-Klassen der GFO-Klasse 12346 vorgestellt. Modelle aus vier Teilräumen, bearbeitet in diesem und vorherigen Abschnitt, müssen zusammengesetzt werden. Die Übersicht zeigt modellierte Klassen:

GFO / Substrat	Festgestein 2456	Lösse 3 und Kolluvien 7
Tal _{schmal}	1U2 3 4 6	3 4 6
Tal _{grw}	5 8	5 7 8

Da in vorgeschalteten Modellen etwas andere Substratklassenausdehnung und etwas andere GFO-Klassenausdehnungen erzeugt wurden als im Validierungsgebiet vorgegeben und weil Verschachtelung vorliegt, können bzw. müssen die hier auszuweisenden BFG-Klassen ebenfalls andere Ausdehnungen haben. Unter der Prämisse die BFG-Anteile in ihrer Größenordnung abschätzen zu können (vgl. 7.6), wurden *a-priori*-Werte regulierend eingesetzt, die die angenommenen Relationen in etwa hervorbringen:

- Das Verhältnis von BFG 3 zu BFG 4 in Substrat 2456 sollte etwa 60:100 sein.
- Das Verhältnis von BFG 3 zu BFG 4 in Substrat 3 und 7 sollte etwa 30:100 sein.
- BFG 5 sollte die grundwasserbeeinflussten Täler in Substrat 2456 stark dominieren.
- BFG 5 sollte die grundwasserbeeinflussten Täler in Substrat 3 und 7 dominieren, aber vor allem BFG 7 und vermindert auch BFG 8 sollten deutlich erkennbar auftauchen.

Vergleichbarkeit ist nur innerhalb der beiden GFO-Klassen gegeben, denn die hier zu diskutierende BFG-Modellierung war durch die vorgeschaltete GFO-Modellierung limitiert (7.2).

BFG 1 und 2 werden wie erwartet sehr selten ausgewiesen und sind maßstabsbedingt fast nicht zu erkennen. Sie finden sich nur an stark geneigten, unten liegenden Zellen (P1/2). Dies ist zwar sinnvoll, aber sonst kleiden Täler immer den ganzen Talquerschnitt aus, was hier nicht der Fall ist. Das Modell agiert aber konsequent: Es findet Zellen, die Schluchttälern entsprechen, obwohl sie nur die Talflanke bedecken. Die Zelle selbst ist insofern nicht „falsch“ klassifiziert, aber in der Gesamtkonstellation ergibt sich ein untypisches Bild (Problem „Klassennachbarschaft“).

Dieses Phänomen findet sich auch bei anderen BFG-Klassen, vor allem bei der Konstellation von BFG 3 und 4. Wieder würde die Auskleidung eines Querschnitts mit einer Klasse erwartet, aber des öfteren trägt das Talinnere andere Werte als die Flanke. Hier ist die Sinnfälligkeit der beiden Klassen zu hinterfragen: BFG 3 wird weiter „unten“ als BFG 4 im Talquerschnitt modelliert. Dies ist sinnvoll, denn BFG 4 stellt eher die muldenartigen Täler, BFG 3 eher die Kerbtäler dar (vgl. Abb. 7).

Das Phänomen der streifenartigen Anordnung von BFG-Klassen ist besonders südlich von Punkt X zu bemerken: Der Talquerschnitt zeigt die Abfolge BFG 4-7-5-7-4. Wenn das Bild auch sehr unruhig und ungewöhnlich ist, so ist die Konstellation wasserhaushaltsbezogen plausibel, denn „unten“ tritt der höchste Grundwasserstand auf, nach „oben“ folgt der mittlere GW-Stand und darüber schließen sich Zellen mit grundwasserfreiem Talcharakter an. In moderaterer Form wurde das Problem bereits bei der GFO-Modellierung aufgezeigt (7.2.5).

Positiv ist die sehr vorgabeähnliche Ausweisung von BFG 4 bei den Punkten P4 zu werten. Auch ist die Ausweisung von BFG 5 in den unteren, östlichen Bereichen passend (P5). BFG 7 im mittleren Haupttal ist richtig plaziert (P7), wenn auch dort zugunsten von BFG 5 zu gering ausgedehnt. Im zentralen Bereich findet sich die BFG-Klasse 8, diejenige mit den tiefsten Grundwasserständen, an plausiblen Orten (P8). Negativ ist das Auftreten von BFG 4 dort, wo die Referenz im Norden BFG 3 vorgibt (N4).

In der Umgebung von Punkt T sind die modellierten Täler (4) sehr schmal, in der Referenzkarte relativ breit. Die Modellausprägung ist hier nicht von dem BFG-Modell, sondern bereits von dem vorgeschalteten GFO-Modell, dem Zusatzmodul der Strukturinformation abhängig. Eine mittlere Breite erscheint hier plausibler.

BFG 6 zeigt keine Kongruenz mit der Kartierung. Die Lage der Klasse in Relation zu den Höhenlinien ist zwar möglich, aber nicht überzeugend. Als Vorschlag ist die Modellierung brauchbar, weil sich BFG 6 im Verlauf anderer Talklassen findet (7.2.1); der Vorschlag ist insofern nicht irreführend. Die BFG 6 – Flächen der Kartierung im Osten des Gebietes werden nicht erkannt.

Sollten überhaupt Klassen ausgewiesen werden, die im Validierungsgebiet keine Kongruenz zwischen Vorgabe und Modell aufweisen? In solchen Fällen handelt es sich tatsächlich vornehmlich um gering ausgedehnte Klassen wie BFG 6. Fehlende Kongruenz zeigt zwar, dass das Modell streng genommen nicht zutrifft, aber die Ausweisung der Klasse zeigt andererseits durchaus Orte an, an denen die Klasse laut Modellierungsdatenbasis vorkommen könnte. Es sind dies also Orte, an denen der Kartierer prüfen sollte, ob die modellierte, gering ausgedehnte Klasse dort vorkommt.

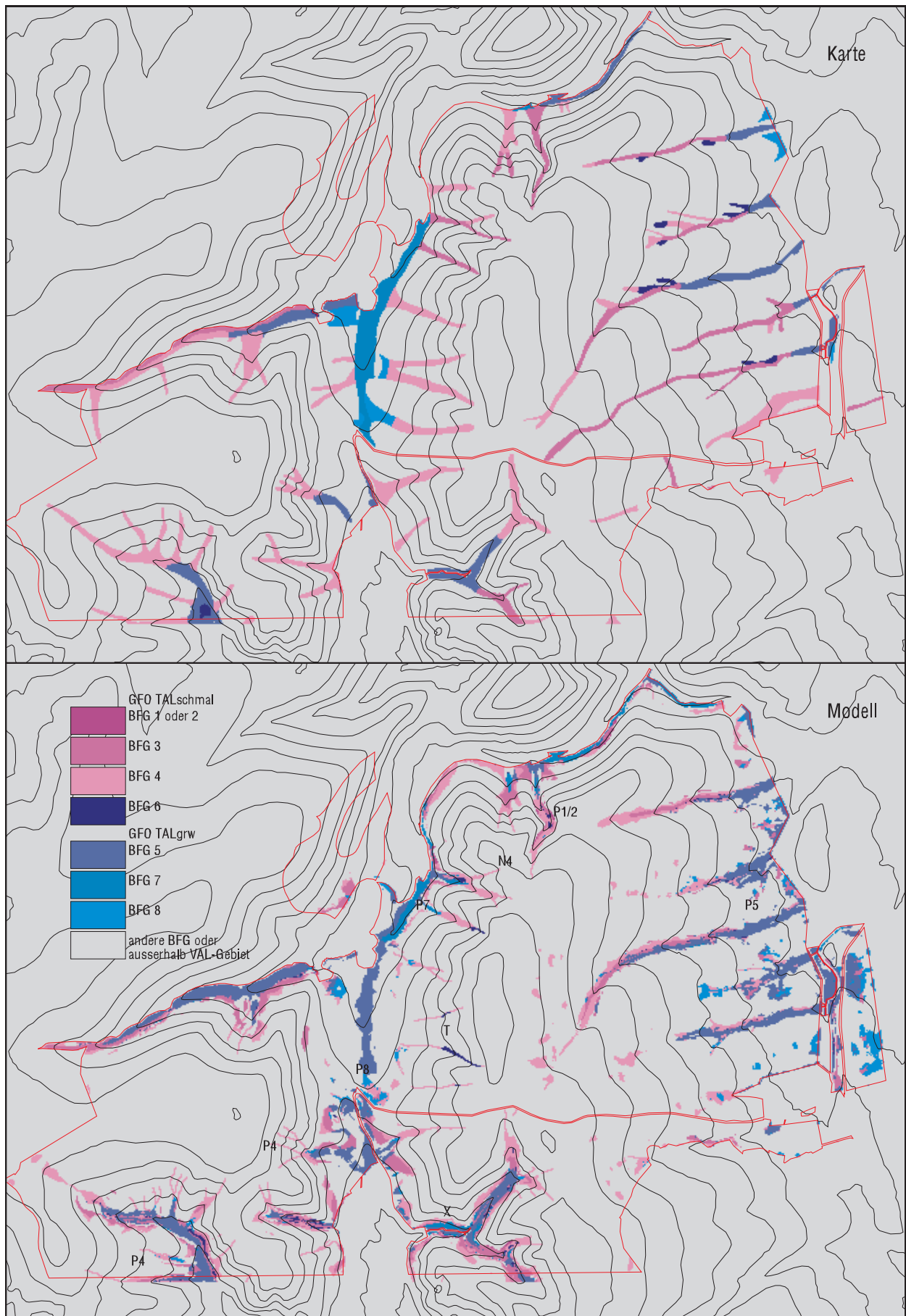


Abb. 61: Kartierte und modellierte Tal-BFG-Klassen im Validierungsgebiet.
 Maßstab 1:40.000. 20 m Äquidistanz. Ausschnitt 3548100 5729300 3555300 5734100.

7.3.7 BFG innerhalb GFO-Bereich „Rücken“

Abschließend sollten zwei BFG-Klassen der Rücken getrennt werden: 26 und 27 (vgl. Tab. 5). BFG 27, die trockeneren Rücken, kommen in der Datenbasis nur auf 1,5 ha vor. Somit ist mit Berglanddaten keine Modellaufstellung möglich. Wie stellt sich die Verteilung der Klassen 26 und 27 dagegen im Harz dar? Die Daten aus diesem Gebiet können testweise herangezogen werden, weil der Rückenbereich ein bereits eng umrissener Standort ist, der, wenn er überhaupt ausgewiesen wurde, überall ähnliche Charakteristika aufweist (abgesehen von t und f als Variante bei 26).

Die Modellsituation ist insofern übersichtlich, als dass die beiden BFG-Klassen nur innerhalb der Substratklassen 1 und „Festgestein“ auftreten und nicht innerhalb Substrat „Löß“ oder „Kolluvien“. „Festgestein“ trägt Code 2456, weil darin die Einzelklassen 2, 4, 5 und 6 vereinigt sind. Wenn Substratklasse 1, die „feinbodenärmsten Decken“, in der Berglandbasis vorkommen würde, wäre auch sie integriert. Es ist in diesem Sinn anzunehmen, dass ein Zusammenhang zur Substratklasse 1 besteht (7.1.1). Dort war ebenso auf Harzdaten zurückgegriffen worden.

Im Gesamtharz entfallen auch nur 0,2 % (ca. 150 ha) der Fläche auf BFG 27, dagegen 5,0 % (ca. 3740 ha) auf BFG 26. Die Anzahl der BFG-27-Flächen ist mit 260 aber recht groß; die einzelnen Flächen sind sehr klein. Zuerst soll versucht werden, die Klassen nur mit geomorphologischen und geländeklimatischen Variablen zu trennen. Der Harzbereich westlich der Koordinate 3597400 konnte benutzt werden, weil dafür die vier geländeklimatischen Variablen vorlagen.

- BFG 26 gegen 27 in Substrat 2456 (etwa je 3.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	EUCHANG		0.17	0.18				
2	2	WINDEXP		0.03	0.05				
3	3	SLODIS17		0.03	0.03	0.78	0.22	31	BFG 26 etwas zu weit ausgedehnt

Recht bedeutsam ist EUCHANG, die relative euklidische Hangposition. Sie bestimmt das Modell aber nicht der Erwartung entsprechend, weil laut Modell BFG 26 bei höheren Hangpositionen auftritt. Bei geringen Distanzen zu Bereichen mit größerer Neigung (SLODIS17) wird dabei zu BFG 27 tendiert, also zu dem trockeneren Standort. Dies ist immerhin plausibel. Das gleiche gilt für WINDEXP, der Windexponiertheit, die hier ausnahmsweise gewählt wird.

Zwischenergebnis:

Die Zusammenhänge sind ungenügend, so dass zumindest anhand der Harzdaten kein sinnvolles Modell zur Trennung der beiden BFG-Klassen aufgestellt werden kann.

Da wegen der großen Anzahl von Forstämtern und beteiligten Kartierern Inkonsistenzen im Datensatz vorkommen könnten, sollte der Betrachtungsraum eingeschränkt werden. Hier bietet sich an, nur die Werte des FOA Lautenthal zu nutzen; es handelt sich um Standorte, die erst 1998 kartiert wurden, also um Kartierungen nach aktuellem Kenntnisstand. Konsistenz wird durch die Ausführung der Arbeiten durch nur einen Kartierer gewährleistet (PAMPE 1997). Es liegen in Lautenthal etwa 30 Polygone von BFG 27 und etwa 110 von BFG 26 vor. Insofern ist die Datenbasis verwendbar.

- BFG 26 gegen 27 (in FOA Lautenthal, etwa je 1.700 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	FLI-L		0.47	0.13				
2	2	PATLENF		0.07	-				
3	3	PLAF		0.02	0.03				
4	4	FLI-IL		0.03	0.14				
5	5	SLODIS17		0.02	0.05				
6	4		PATLENF	-	-				
7	5	EINSTRMOD		0.03	0.03	0.45	0.55	15	-

Fünf Variablen gelangen in das Modell. Davon sind zwei Form-Lage-Indizes am bedeutsamsten. Es folgen die Distanz zu steileren Bereichen, die Horizontalwölbung und eine Einstrahlungsvariable. Die Trenngüte ist hoch. Beide Form-Lage-Indizes steuern aber nicht in dem Sinn, wie es erwartet wurde: Wenn die Indizes offene, erhöhte Lage anzeigen ergibt sich tendenziell BFG 26, also der frischere Standort von beiden. Ähnliches wurde bereits im vorangestellten Modell gezeigt. Möglicherweise hängt dies damit zusammen, dass BFG 27 oftmals ein kleiner Standort ist, der als eine Ausnahme im standörtlichen Spektrum aufzufassen ist und in unerwarteten Positionen auftritt. Allerdings bewirkt im aktuellen Modell stärkere konvexe Horizontalwölbung wie erwartet BFG 27. Auch SLODIS17 wirkt sinnvoll: Je näher steile Bereiche sind, desto eher resultiert BFG 27. Entsprechendes gilt für EINSTRMOD: Je höher der Wert, desto trockener der Standort.

Ob entweder das Vorkommen von BFG 27 durch bestimmte Gesteine gefördert wird oder aus anderer Perspektive betrachtet trotz des Auftretens von Substrat 1 nicht vermehrt BFG 27 resultiert, sollte abschließend diskutiert werden. Ähnlich wie bei dem Test auf Verbesserung der Stauwassermodelle (7.3.2) und bei der Modellierung von Substratklasse 1 können einige GK25-Ableitungen als Variable getestet werden: SUB-1-ANTF, SUB-1-ANTFL, DEC-S-INT und UNT-S-INT. Es wurde postuliert, BFG 27 eher bei hohen Sandgehalten und / oder bei hohen Anteilen Substrat-1-relevanter Gesteine aufzufinden. Bei diesem Test standen allerdings nur die Hälfte der BFG-27-Flächen des FOA Lautenthal zur Verfügung, weil die GK25-Datenbasis dort nicht vollständig ist. Nur UNT-S-INT wurde neben vier geomorphologischen Variablen gewählt; sie agiert unplausibel, da laut Modell höhere Sandgehalte BFG 26 fördern. Wie auch schon bei dem Test ausschließlich mit geomorphologischen Variablen sind die Zusammenhänge unklar oder unplausibel, so dass sich weiter der Eindruck verstärkt, BFG 27 sei mit derartigen Variablen nicht von 26 trennbar.

Schließlich wurden Kombinationen von Lagerungs- und BFG-Klassen betrachtet. Dass die Lagerungsklassen 11 bis 16 mit petrographischen Informationen der GK25 zusammenhängen wurde in 7.1.1 dargelegt. In Tab. 7 und Tab. 8 wurden in ähnlicher Weise Verhältnisse erwarteter und tatsächlicher Kombinationen von Lagerung und GFO vorgestellt, um zu zeigen, dass die Kenntnis von Substrat / Lagerung die Wasserhaushaltsmodellierung erleichtern würde. Folgendes Bild ergibt sich hier:

- Etwa 10 % von Lagerung 11, den extrem feindarmen Standorten, entfallen auf BFG 27. Dies ist etwa 25x soviel, wie bei unabhängiger Kombination Lagerung - BFG zu erwarten gewesen wäre.
- Auf Lagerung 11 wird hingegen nicht BFG 26 vergeben.
- Auch bei Lagerung 61 wird nicht BFG 26, der etwas frischere Standort kartiert.

- Sobald Lagerung 12 kartiert wurde, also schon eine geringmächtige Decke auf sehr feinkörnigen Gestein liegt, wird vor allem BFG 26 ausgewiesen, aber bereits nicht mehr BFG 27.
- In dem FOA wurden etwa 20 ha der Lagerung 21 kartiert, also die unverlehnten, flachgründigen, basenarmen Standorte. Sie entfallen zu 20 % auf BFG 26, nie aber auf BFG 27.
- BFG 27 wurde nur auf 2,5 ha kartiert. Neben der erwähnten Klasse 11 liegt hauptsächlich Lagerung 61 zugrunde, also die steinigen, flachgründigen, basenreichen Standorte (vgl. Tab. 3).

Die Herleitung von geringen Deckenmächtigkeiten bzw. von bestimmten feinkörnigen verwitternden Gesteinen ist aus der Perspektive kartierter Klassen demnach in diesem Kontext angebracht (7.1.4.2 und 7.1). Deckenmächtigkeiten sind allerdings u.a. von geomorphologischen Faktoren abhängig (7.1.4.2), womit die enge Verbindung von diesen Faktoren, Lagerungsklassen und Wasserhaushaltsklassen aufgezeigt wird. Es könnte regelhaft innerhalb von GFO „Rücken“ die BFG-Klasse 27 dort vergeben werden, wo zuvor wenige, bestimmte Lagerungsklassen modelliert wurden. Dann müsste allerdings auch sichtbar sein, dass BFG 26 und 27 mit den unabhängigen Variablen selbst zu trennen wären. Dies wurde in den beiden Tests zuvor nicht bestätigt. Somit besteht ein Widerspruch innerhalb dieses Abschnitts. Möglicherweise löst sich der Widerspruch bei erweiterter Berglanddatenbasis, die sowohl Substrat 1 als auch BFG 27 enthält, auf. Vorerst ergibt sich kein BFG-Teilmodell.

7.3.8 BFG innerhalb GFO-Bereich „Steilhänge“

Tab. 5 zeigt die Kombination aus Frischegrad, BFG-Klasse und GFO-Klasse. Nur BFG 28 und 29, wurden noch nicht bearbeitet. In 7.2.11 wurde festgestellt, dass GFO 2829, die Steilhänge, regelhaft innerhalb der Hänge zu bestimmen sind, weil klare Vorgaben im GÖS bestehen. Wie auch innerhalb GFO Rücken gibt es hier nur zwei BFG-Klassen, die gewissermaßen den trockeneren gegen den frischeren Standort abgrenzen.

BFG 29 kommt in der Berglanddatenbasis nur zweimal vor, somit wurde wieder auf Harzdaten zurückgegriffen. Um nicht durch die Einbeziehung anthropogener Geländeformen zu falschen Ergebnissen zu gelangen, wurden Sonderstandorte aus der Teildatenbasis eliminiert. Es besteht die These, BFG 29 wäre vermehrt auf Standorten stärkerer Einstrahlung und / oder zumindest in „offeneren“ Hangbereichen vorhanden.

- BFG 28 gegen 29 (etwa je 1.300 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR ² E	pR ² S	WL	ASCC	e r %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	SLODIS9		0.18	0.06				
2	2	EINSTRMOD		0.09	0.09				
3	3	FLI-IL		0.03	0.07				
4	4	TWIF		0.04	0.04	0.69	0.31	20	-

In einem ersten Versuch ist die Trenngüte akzeptabel (20 % Fehlquote), da auch die vorgegebene Klassenausdehnung erreicht wird. FLI-IL agiert so wie erwartet, denn in erhöhter, freier Lage resultiert tendenziell BFG 29. EINSTRMOD agiert aber unerwartet: Je höher die Einstrahlung, desto eher ergibt sich BFG 28. Auch die anderen beiden Variablen lenken das Modell in nicht einzusehender Weise, BFG 29 resultiert z.B. eher bei hohen TWIF-Werten (geringe Neigung im EZG). Der GÖS 2000 unterscheidet BFG 28 und 29 je nach Neigung, Substrat und Gründigkeit. Dies könnte so interpretiert werden, dass BFG 29 bei den steileren Bereichen auftritt. Ein Test nur mit der Variablen SLOF ergab aber keine Trennbarkeit.

Zwischenergebnis:

Die Zusammenhänge sind wie bei den Rücken so zweifelhaft, dass zumindest anhand der Harzdaten kein sinnvolles Modell zur Trennung der BFG-Klassen aufgestellt werden kann.

Wie auch bei den beiden BFG-Klassen der Rücken wurde testweise der Datensatz auf das FOA Lautenthal beschränkt: Nach Eliminierung der Sonderstandorte blieben nur wenige Bereiche der Klasse 29. Wie so oft, wenn die Datenbasis nur aus wenigen Flächen (Polygonen) aufgebaut werden konnte, werden bei geringen *entry*- und *stay*-Schwellen von 0.02 viele Variablen gewählt, was eine gute Trennbarkeit nur suggeriert. So wurden die Schwellenwerte auf 0.06 erhöht und damit drei Variablen selektiert. Bei Modellanwendung würden erhöhte Einstrahlungswerte BFG 28 fördern, was nicht plausibel ist. Nur eine Variable steuert wie erwartet und fördert bei offener Lage BFG 29. Das Modell wäre aber in seiner Gesamtheit ungenügend und wird verworfen.

Abschließend kann parallel zu den Tests im vorherigen Abschnitt (BFG 26, 27) der Zusammenhang zu Substrat / Lagerung offengelegt werden:

- Etwa 80 % von Lagerung 11, den extrem feinbodenarmen Standorten, entfallen auf BFG 29, die trockenen Steilhänge. BFG 28 ist darauf nicht vertreten.
- Etwa 30 % von Lagerung 61, den flachgründigen basenreichen Standorten, entfallen auf BFG 29, während BFG 28 dort nur 2 % ausmacht. BFG 29 ist extrem überproportional vertreten, BFG 28 hingegen nur sehr wenig überproportional verglichen mit einer zufälligen, unabhängigen Verteilung.

Wieder wird deutlich, wie stark Wasserhaushaltsklassen von den Substrat / Lagerungsklassen abhängen; sie herzuleiten ist das eigentliche Problem, wie im vorherigen Abschnitt und 7.1.5 gezeigt wurde.

Ein Modell zur Trennung der beiden BFG-Klassen fehlt wie auch das für die Differenzierung der Rücken. Hier liegen zwei Beispiele für die Beendigung eines Modellierungszweiges vor, wenn die Modelle nicht geeignet erscheinen.

7.3.9 Zusammenführung der Einzelergebnisse zu Bodenfeuchtigkeit und Geländeform (BFG)

Die Modelle MN 21 bis MN 36 dienen der BFG-Klassenausweisung. Sie beruht auf den Modellen der GFO-Ausweisung, MN 12 bis MN 20 (vgl. Tab. 61). GFO-Klassen wurden in Substratklassen modelliert. Abschnitt 7.2.8 bespricht, warum Ergebnisse nachgeschalteter Modelle kaum mit der Kartierungsreferenz vergleichbar sind. Trotzdem soll hier ein numerischer Vergleich durchgeführt werden.

Wasserhaushaltsklassen innerhalb Substrat 1 wurden nicht modelliert, weil erstens die Datenbasis fehlt und zweitens relativ klar ist, dass entweder trockenere Hang-Klassen oder Rücken-Klassen auftreten werden. Tab. 57 stellt die kartierten und modellierten Klassen des Validierungsgebietes einander gegenüber; das gleiche beinhalten die Karten 4a und 4b. Noch mehr als bei dem Vergleich der Lagerungsklassen (Tab. 44 und Karte 3a und 3b) ist eine Diskussion schwer, da viele Kombinationen auftreten. Die Kombinationsvielfalt würde sich verringern, wenn Mindestgrößen der modellierten Flächen bzw. der Zellenhäufungen definiert wären. Die Tabelle beinhaltet aber die primäre Modellierung. Die Kombinationsvielfalt ist allerdings bereits ein Anzeichen der nicht oft exakt zutreffenden Modellierung. Zur Strukturierung wurden einige Tabellenfelder je nach Akzeptanz der Kombination in drei Kategorien gekennzeichnet.

Tab. 57: Kombination kartierter und modellierter BFG-Klassen im Validierungsgebiet.

(K, M). Fett ~ Kongruenz, hellgrau ~ akzeptabel, dunkelgrau ~ nicht akzeptabel.

Einheit: 10x10 m-Zelle. Verschlüsselung: Tab. 5 und Tabelle im Anhang. Vgl. Karte 4a und 4b.

K / M	2	3	4	5	6	7	8	9	13	14	17	18	19	20	21	22	23	24	26	Sum.
3		727	899	1187	60	68	76	155	40	261	13	145	199			67	75			3972
4	7	652	1397	1159	126	80	115	130		920	69	669	1082	15	82	500	1256	141	3	8403
5	40	393	163	1902	93	324	4	4			1	328	117			81	17	1		3468
6		34	102	152	7	4	9	18				16	55			5	35			437
7		25	26	721		265	65			51	1	384	2			59				1599
8		13	5	178	4		41			203		360	42				4			850
9	3	216	191	1021	7	7	217	3416	1265	999	2	209	2867	8		580	852	95	543	12498
10		41	16	73	3		8					72	8			18				239
12								576		15			41							228
13			44					1403	116	1099	63	54	421				170	16	174	860
14		50	207	605	4	7	171	2376	656	2656	42	757	1966	7		161	149	24	345	3560
16			14					620	20	435			100							1189
17		62	242	27			82	541	116	2368	178	454	1712	77		25				5884
18		355	541	725	12	98	295	196	35	786	113	1492	2747	14	65	262	16		14	7766
19	61	775	2254	461	15	120	343	4350	1266	4682	165	2919	27628	1158	10	252	2004	200	783	49446
20			1					83					1244	64			364	182	335	2273
21			16					171		441	20	45	471				36	1		1201
22	1	358	328	229	8	16	30			127		175	698	15	31	446	533	68		3063
23	44	531	1702	395	71	110	77	1988	219	2025	152	161	6036	506	92	915	15723	2216	791	33754
24	3	137	181		10	2	13	317		7	5	34	2233	501		136	1905	521	518	6523
26		10	2	45				322		3		6	225	1		61	311	141	509	1636
Sum.	159	4379	8331	8880	420	1101	1546	16666	3733	17078	824	8280	49894	2366	280	3572	23446	3606	4243	15880

Beispiele für eine akzeptable Modellierung sind die Kombinationen 3 - 4 bzw. 4 - 3, also die der hauptsächlich vorkommenden schmalen Täler. Ein anderes Beispiel ist eine Kombination aus dem Hangbereich wie 18 - 22 bzw. 22 - 18. Unpassend sind Kombinationen aus einem tendenziell trockeneren Hangstandort und einem frischen Tal, also BFG 24 und BFG 3. Hier kann aber auch eine falsche Codevergabe bei der Digitalisierung der FSK10 zugrundeliegen: Karte 4a zeigt im Norden eine große Fläche BFG 24, die im Mittel- und Unterhang offensichtlich unplausibel ist. Sie ist für die meisten Zellenwerte der Zeile 24 verantwortlich und führt im übrigen auch dazu, dass in der Kartierung BFG 24 doppelt so weit ausgedehnt ist wie im Modell. Die Fläche ist ein Beispiel für Daten, die aus einer Modellierungsdatenbasis verbannt werden müssten, denn sie würden sich durchaus fehlerhaft auswirken, weil sie eine relativ große Ausdehnung innerhalb einer eher seltenen Klasse haben.

Auffällig ist die große Ausdehnung der Klasse 5 im Modell gegenüber der Karte: Hier muß rückblickend gesagt werden, dass die zugrundeliegende GFO-Klasse 578, grundwasserbeeinflusste Täler, etwa doppelt so weit ausgedehnt modelliert wie kartiert wurde. Dies wiederum hängt u.a. mit der vorgeschalteten Modellierung der drei Substratklassen 3, 7 und 2456 (Festgestein) zusammen. Darin wurde auch die grundwasserprädestinierte Klasse 7 ausgedehnter modelliert als kartiert. In MN 18 (7.2.6) wurde die Variablenselektion gutachterlich geändert, was der Hauptgrund für die weite Ausdehnung von GFO 578 ist. Hier wird wieder die starke Bedeutung vorgeschalteter Modelle deutlich.

Die geringere Modellierung von BFG 23 gegenüber der Kartierung ist zu hinterfragen, denn die Differenz beträgt etwa 100 ha. Dies verwundert um so mehr, als dass BFG 19, die vergleichbare Schatthangklasse (Tab. 5), fast exakt die gleiche Ausdehnung von 500 ha in Karte und Modell hat. Terrestrische BFG-Hangklassen wurden modelliert, nachdem zuvor eine „Halbierung“ der GFO-Klasse Hang in Schatt- und Sonnhang stattgefunden hat. Außerdem wurde zuvor ein Teil von den Hängen als Stauwasserbereich deklariert. Auch kann ein Hang nur dort sein, wo nicht GFO Ebene modelliert ist. Die Ausdehnung der

Ebenen wurde mit zwei Teilmodellen produziert: MN 13 in Substrat Festgestein und MN 16 in Substrat Löß. Sowohl die anfangs modellierte Ausdehnung von GFO Hang als auch die von GFO Ebene beinhaltet die später in ihnen auszuweisenden Stauwasserbereiche. Hier kommt das einem aktuell betrachteten Teilmodell vorgeschaltete Gefüge anderer Teilmodelle besonders zum Tragen: Es ist schwer zu recherchieren, welcher Teilschritt im Vorfeld dafür sorgte, dass schließlich bestimmte BFG-Klassen wie 23 nur noch in einer bestimmten Ausdehnung resultieren können.

Der Kartenvergleich zeigt aber im Modell die verringerte BFG-23-Ausdehnung u.a. im Westen; das Modell weist dort mehr BFG 9 auf. Im wenig geneigten, östlichen Bereich tritt BFG 23 ebenfalls deutlich zurück: Ebenen (9), Stauwasserbereiche (13, 14) und BFG 19 werden weit ausgewiesen. Anscheinend orientierte sich die Kartierung dort an der Ostexposition und weniger an den um 22,5° im Uhrzeigersinn gedrehten Schwellenwerten (vgl. 7.3.1).

Die Ausweisung der Klasse 26, einer Teilfläche von GFO 2627, ist leicht recherchierbar, weil sie nur innerhalb Substrat 2456 modelliert wird (MN 12): Das Modell weist sie fast dreimal so groß aus wie sie kartiert wurde. Nach Tab. 46 macht sie 41 ha aus; dazu kommen wenige ha durch das Zusatzmodul 2, den Einbau der Strukturdaten (7.2.9). Der Vergleich der Karten 4a und 4b zeigt eine sinnvolle Verteilung der Klasse 26 im Modell; dies bedeutet umgekehrt, die Kartierung weist 26 zu gering aus. Da dieser Eindruck auch in einigen Tests abseits dieser Arbeit entstand, wurde in Modell MN 12 bewusst trotz Steuerbarkeit mit *a-priori*-Annahmen diese vergrößerte Ausdehnung akzeptiert.

Das häufige Problem der Klassennachbarschaft im Raum, insbesondere der Talklassen, wurde in den vorherigen Abschnitten mehrmals behandelt: Gründe sind das Prinzip des verschachtelten Vorgehens, die Wirkung bestimmter Variablen der Einzugsgebietsgröße und dass die statistischen Klassifikationen eine Zelle separat behandeln, wohingegen der Kartierer integrierend „Einheiten“ sieht und zeichnet. Unter anderem dieser oftmalige Wechsel der Klassennachbarschaft im Modell führt zu der großen Anzahl der Klassenkombinationen in der Tabelle.

Negativ ist die Modellierung von BFG 6, den quelligen Standorten, die mit den vorgestellten Werkzeugen kaum zu erfassen sind; die Kartierung zeigt sie in den relativ wenig zertalten östlichen Bereichen. Eine Integration von Gewässerobjekten des ATKIS-Datenkatalogs des Landes Niedersachsen oder forstliche Biotopkartierungen kann Abhilfe schaffen.

Fragenkomplex Bodenart - Lagerung - „Stauwasserausprägungen“

In Abschnitt 7.2.10 war die Kodierung der Stauwasserinformation in Lagerungszahl und Wasserhaushaltszahl angesprochen worden (vgl. Tab. 49). Stauwasser wurde schließlich nur in Form der Komponente BFG (Wasserhaushalt) modelliert. In diesem Kontext können die vier Karten 3a, 3b, 4a und 4b verglichen werden, nicht nur 3a - 3b bzw. 4a - 4b:

	SUBLAG	BFG
Kartierung	3a	4a
Modell	3b	4b

Passend ist die Abfolge von BFG 14, 13 und 9 von innen nach außen in einer kaum geneigten Anhöhe von 440 m im Westen. In der Kartierung lautet die Abfolge BFG 14 - 9, dies korrespondiert mit der Lagerungsklassenkartierung 24 - 23. Karte 3b zeigt SUBLAG 23, also Festgesteinsbereiche. In ihnen scheint die STW-Modellierung zu funktionieren.

Dem widerspricht das Fehlen der Stauwasserstandorte in der zentralen Erhebung von 420 m, wo das Modell BFG 9, z.T. sogar BFG 26 abbildet. Der Lageunterschied ist, dass es sich im Westen um eine sehr weite Verebnung handelt, in Zentrum aber um eine schmalere, die nach Westen von einem stärker geneigten Hang abgeschlossen wird. Somit ist unterschiedliche BFG-Ausweisung erklärbar.

Nach Osten in 400 m Höhe schließen an diese Anhöhe in der Kartierung BFG 17, 21 und 14 an; das Modell ist dort passend, weil es weitgehend 14 zeigt. 14 und 17U21 sind verwandt (vgl. Tab. 54). BFG 14 ist dort aber in SUBLAG angelegt, was anscheinend zu passenden Ergebnissen führt. Die weitausgedehnteste Diskrepanz zwischen Modell 14 und Kartierung 19 im Osten bei Y-Koordinate 5731000 ist aber darauf zurückzuführen, dass dort Substrat 3 modelliert wurde und darin in solchen Lagen BFG 14. Somit ist auch das BFG-STW-Modell in Substrat 3 als problematisch anzusehen.

Die Kartierung von BFG 16, den Berglandmooren, in den flachen Anhöhen im Osten weist im übrigen darauf hin, dass das Validierungsgebiet standörtlich gewissermaßen am Rand des Berglandes positioniert ist, denn Moore treten in Südniedersachsen sonst nur in höheren Lagen des eigentlichen Solling oder im Harz auf. Insofern war es schwierig, mit typischen Berglanddaten diese Gegebenheiten abzubilden.

In der Summe sind die verwandten Stauwasserklassen 13, 14 und 17U21 etwa gleich weit ausgedehnt. Die nachträgliche Korrektur über Neigungsschwellenwerte nach Modellierung der Klassen 14 und 17U21 führt allerdings dazu, dass die Ausdehnungen dieser Klassen zwischen Karte und Modell um etwa 60 ha abweichen (MN 22 und MN 23 in 7.3.2).

Geben die Karten 2a und 2b Hinweise auf die Verteilung der Lagerungsklassen oder BFG-Klassen ?

Lagerung 22 (Karte 3b) ist nur dort modelliert, wo mittlere Sandhaltigkeit (Karte 2a) der Decken postuliert wurde. D.h., Lagerung 22 wurde nach anderer Kriterien ausgewiesen. Dies trifft zu, denn Deckenmächtigkeit in Kombination mit Substrat Festgestein und Unterlagerung „basenarm“ waren die entscheidenden Merkmale. Die Schwelle der Sandhaltigkeit wurde sehr hoch gesetzt, weil sonst sehr weitere Bereiche in SUBLAG 22 münden würden, was sicher falsch wäre.

Die hohen postulierten Intensitäten der Tonhaltigkeit (Karte 2b) bzw. der Wert „Ton“ der Variablen UNT-GK wirken sich im Modell aus, wie der Streifen der Substratklasse 5 bzw. Lagerungsklasse 24 im Osten zeigt. Aber weder innerhalb der Lagerungskartierung noch innerhalb der BFG-Kartierung ist ein vergleichbarer Streifen erkennbar. Lagerungsklassen wurden nicht statistisch, sondern regelbasiert gutachterlich ausgewiesen. In dem BFG-Modell taucht solch ein Streifen nicht auf, weil dort auf statistischem Weg ohne GK25-Ableitungen Klassen modelliert wurden. Die große Verbreitung der Stauwasserflächen im Westen und in der Mitte in den schwach geneigten Hochlagen fällt auf. Karte 2b zeigt dort aber keine gesteinsbürtigen erhöhten Tongehalte an.

Es besteht also noch Handlungsbedarf bzgl. der Endwertung der durch die GK25 vorgegebenen Eigenschaften. Desweiteren ist ein Zusatzmodell zur Beschreibung der Tonanteile in Decken und dem Übergang zum Unterlagernden angebracht.

Eine Lokalität soll abschließend diskutiert werden, um den Modellierungsgang und seine Probleme noch einmal aufzuzeigen (Koordinate 3550000 5731600): In einem nach Norden gerichteten Tal liegen die Klassen 3, 4, 5 und 18 in einer unruhigen Abfolge laut Modell nebeneinander. Zwei sehr schmale Täler (4) stammen aus dem Zusatzmodul 2 „Strukturinformation“ und sind im Vergleich mit der Kartenreferenz sinnvoll. Der Grundwasserstandort in der Mitte der Lokalität an der tiefsten Stelle ist ebenso sinnvoll. Die umgebende Klasse 18, der frischere Schatthang, ist in der Nachbarschaft mit den Tälern 3 und 4, die daran nach „oben“ bzw. seitlich anschließen, zu diskutieren. Der Vergleich mit Karte 3b, den Lagerungsklassen, erklärt die Konstellation: Die Mitte der Lokalität trägt Lagerung 32 und 35, also Substrat 3. Außen findet sich Lagerung 23, also Substrat Festgestein. Darin gibt es unterschiedliche GFO- und BFG-Modelle. Dass die Lokalität im Relief weit unten liegt zeigen die Karten 1a bis 1c. Insofern ist BFG 3 und 4 im Festgestein angebracht. Somit fokussiert sich das Problem auf Substrat 3. In Substrat 3 wurde zuerst GFO Ebene von „Anderen“ getrennt (MN 16), dann GFO Hang von den restlichen „Anderen“ (MN 17, 7.2.3). Es verblieb der Bereich, der entweder Tal_{grw} oder Tal_{schmal} ist. Diese Trennung wurde zusammen mit Substrat 7 Kolluvium/Alluvium ausgeführt (MN 18). BFG 18 ist substratklassenintern richtig ausgewiesen, denn innerhalb Substrat 3 ist ein Hang plausibel, da keine linienhafte Eintiefung aber auch keine Verebnung vorliegt. Also ergibt sich der „Mangel“ im Wechsel von Substrat 2456 und Substrat 3, es handelt sich wieder um das mehrmals angeführte Problem der Klassennachbarschaft durch Modellverschachtelung. Auch die Kartierung fand sich an dieser Lokalität offensichtlich in einem Entscheidungsnotstand, denn sie zeigt Tal-BFG 4, was insofern untypisch ist, als dass es laut Karte mindestens 120 m breit ist.

Damit ist die Modellierung einzelner Klassen der Standortkomponenten „Substrat“, „Substrat / Lagerung“, „Geländeform“ und „Bodenfeuchtigkeit und Geländeform“ abgeschlossen. Der Status wird aus folgender Übersicht, die mit Tab. 61 korrespondiert, deutlich.

Status 9	Substratklassen bzw. Lagerungsklassen	GFO-Klassen	BFG-Klassen () theoretisch vorhanden, nicht modelliert
	1	-	-
2456	12346	1U2 3 4 6	
	578	5 (7) 8	
	911	9 (10) (11) (12) 13 14 (15) 17 21	
	1725	(12) 13 14 (15) 17 18 19 20 21 22 23 24 (25)	
	2627	(26) (27)	
	2829	(28) (29)	
3	12346	(1) (2) 3 4 6	
	578	5 7 8	
	911	9 (10) (11) (12) 13 14 (15) 17 21	
	1725	(12) 13 14 (15) 17 18 19 (20) 21 22 23 (24) (25)	
7	12346	(1) (2) 3 4 6	
	578	5 7 8	
11 - 74	-	-	

7.4 Varianten von „Bodenfeuchtigkeit und Geländeform“ (BFG)

Wie anfangs erklärt, wird die Modellierung nicht bis auf das Level der Varianten vorangetrieben (2.3.2.4). Es handelt sich bei Einbeziehung der Wasserhaushaltsvarianten um die kleinste innerhalb des Wasserhaushalts verschlüsselte Einheit, also das höchste Level ohne jegliche Aggregation (Tab. 14). Innerhalb der etwa 74.000 ha Forstfläche des Harzes wurden im Lauf der Jahre etwa 220 Werte,

allerdings incl. der Werte für andere Standortkomponenten als der Wasserhaushalt, mit sehr unterschiedlicher Flächensumme und Einzelflächenanzahl kartiert¹⁰. In der Berglanddatenbasis sind es ohne die des Harzvorland etwa 140.

Wenn überhaupt, können Differenzierungen des Wasserhaushalts innerhalb häufiger BFG-Klassen, die wiederum häufige Varianten tragen, durchgeführt werden (SCHULZ & JUDAS 2002). Hier ist an die BFG-Klassen 19 und 23 gedacht, die „frische und vorratsfrische Hangstandorte“ darstellen. Darin finden sich oftmals die Varianten t „trocker“ und f „frischer“ (als der Grundtyp), eine Zergliederung würde dann also zu den Werten 19, 19t und 19f führen. Es drängt sich allerdings ein methodisches Problem auf: Denn die Existenz von modellierten Varianten suggeriert, es wäre versucht worden, *alle* Varianten, die gewissermaßen auf einer Aggregationsstufe stehen, zu modellieren. Im Beispielfall würde also der Eindruck entstehen, die Varianten staufrisch, quellig und grundwasserbeeinflusst würden nicht vorkommen. Sie würden aber deshalb nicht modelliert worden sein, weil sie zu selten sind. Auch hier würde ein Modellierungszweig wie bei GFO und BFG vorhanden sein, aber sehr bald mangels Datengrundlage enden. Um also keine zu große Modelldiversität zu suggerieren wurde auf die Herleitung von Varianten verzichtet.

7.5 Nährstoffversorgung

7.5.1 Skalenniveau und Methodik

Skalenniveau: Obwohl die kartierten Nährstoffkennzahlen von 1 bis 6, versehen mit Zu- und Abschlägen (+, -) ein stetiges Wertespektrum nahelegen und eine gutachterliche Umrechnung in eine Skala von 10 bis 25 (EBERL & STÜBER 1998) dies noch mehr suggeriert, muss man dieses Wertespektrum als ordinal bezeichnen. Dafür sprechen folgende Gründe:

- Es gibt laut Kartierung keine Zwischenwerte wie z.B. 16,4.
- Das Spektrum beginnt bei 1 und endet bei 6 und ist theoretisch nicht ausdehnbar.
- Da es sich nicht um direkt meßbare Werte handelt, ist der Abstand im Sinn einer Wertigkeit zwischen den einzelnen Zahlen nicht unbedingt gleich groß.
- Vor dem Hintergrund der drei zuvor genannten Punkte sind Berechnungen z.B. im Zuge einer Mittelwertbildung nicht unbedingt zulässig.

Somit sind Varianzanalyse und Regressionsschätzung nicht das adäquate Mittel zur Beschreibung und Modellierung dieser Standortkomponente. Sicherlich handelt es sich aber um ein ordinales Skalenniveau, was durch Begriffe wie „sehr schwach versorgt“ bis zu „sehr gut versorgt“ erläutert wird. Es ist angebracht, von „Stufen“ anstatt von „Klassen“ zu sprechen.

Tab. 58: Kartierte, umgerechnete und gruppierte Nährstoffkennzahlen.

Kartierung	1	1+	2-	2	2+	3-	3	3+	4-	4	4+	5-	5	5+	6-	6
umgerechnet*	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
GÖS- Kartierung	ss	ss	s	s	s	m	m	m	zg	zg	zg	g	g	g	sg	sg
NFP- Anwendung	s	s	s	s	s	s	m	zg	zg	zg	g	g	sg	sg	sg	sg

ss= sehr schwach, s = schwach, m = mäßig, m= mittel, zg = ziemlich gut, g = gut, sg = sehr gut versorgt

* nach Eberl & Stüber (1998)

¹⁰ Kombinationen unter Voraussetzung der alphabetischen Sortierung der Variantencodes

In der Kartieranleitung, dem GÖS 2000, lauten die Bezeichnungen wie in der Zeile GÖS-Kartierung vermerkt. Das niedersächsische Forstplanungsamt ordnet die über die Jahre kartierten Nährstoffkennzahlen des Berglandraumes z.Z. vor dem Hintergrund der Ausweisung standortgerechter Waldentwicklungstypen (WET) in fünf Gruppen ein (NFP-Anwendung in Tab. 58) (BÖCKMANN 2002). Für die WET-Herleitung als eine wichtige Anwendung der Standortinformation ist ohne die Kenntnis von Substrat / Lagerung nur die Kombinationen von Wasserhaushalt und Nährstoffstufe im Sinn einer Standortstypenuntergruppe erforderlich.

Status, Ansprüche und Prämissen der Methodik

An dieser Stelle ist zu bedenken, auf Basis welcher Information bestimmte Standortkomponenten bisher modelliert wurden. Dies hat Bedeutung für die Methodik der Modellaufstellung zur Nährstoffversorgung.

- Substratklassen 3, 7 und 2456 wurden ausschließlich mit geomorphologischen Variablen hergeleitet.
- Substrat / Lagerungsklassen wurden unter Einbeziehung der GK25-Information hergeleitet.
- Wo Substrat / Lagerungsklassen bekannt sind, kann eine Zusammenfassung zu Substraten erfolgen.
- Wasserhaushalts-GFO-Klassen wurden ausschließlich mit geomorph. Variablen hergeleitet.
- Wasserhaushalts-BFG-Klassen wurden zumeist ausschließlich mit geomorph. Variablen hergeleitet.
- Stauwasser-BFG-Klassen wurden
 - a) ausschließlich mit geomorphologischen Variablen hergeleitet und
 - b) teilweise unter Einbeziehung der GK25-Information hergeleitet

Wasserhaushalts- und Substrat / Lagerungsklassen sind demnach die kleinsten modellierten Einheiten. Der GÖS 2000 weist unter „Merkmale (Grenzbereichsdefinition)“ auf die Bedeutung von Wasserhaushalt und Substrat für die Nährstoffversorgung hin: „Wegen der komplexen Beziehungen der verschiedenen Standortfaktoren können Grenzbereiche hier nicht fixiert werden; Substrat, Gründigkeit, Wasserhaushalt, Schichtung, Basengehalt und Mineralreichtum sind zu beachten.“

Aus Sicht der Nährstoffversorgung ist es nicht angebracht, in der **Substrat-Sammelklasse 2456**, den Festgesteinen, ein verallgemeinerndes Modell aufzubauen (vgl. Abb. 4): Umgekehrt formuliert müssten mindestens sieben einzelne Substratklassen bekannt sein. In ihnen ist die Spanne der kartierten Nährstoffversorgung jeweils enger als über alle Substrate hinweg. Dies ist im Gliederungsprinzip der Substratklassen verankert, was beispielsweise die Unterscheidung in basenarme und basenreiche Silikatgesteine verdeutlicht (Substrat 2 und 6). Die Nutzung der Substratklassen allein genügt aber nicht.

Hier trifft die Diskussion wieder auf die Inhalte von Tab. 3 und Tab. 18. Dort wird deutlich, wie sich die einzelne Substratklasse ergibt: Sie ergibt sich aus durchaus unterschiedlichen Lagerungsfällen, die aber soweit ähnlich sind, dass die einzelne Substratklasse als Integrationseinheit vergeben werden kann. Obwohl Substrat 3 und 7 rein geomorphologisch hergeleitet wurde, sind wegen des **unterschiedlichen Unterlagernden** Unterschiede in der Nährstoffversorgung zu erwarten: Lagerung 33 und 73 weisen im Unterlagernden Kalk oder basenreiches Material auf, die anderen 3er- und 7er- Lagerungsklassen nicht (vgl. Tab. 3). Unterschiede wird es entsprechend auch in der Substratklasse 2 geben, wo z.B. Lagerung 22 nur basenarmes Silikatgestein beinhalten kann, 26 hingegen aber eine basenreiche Decke über basenarmen Gestein erlaubt. GK25-Information ist davon abgesehen notwendig, um geforderte Lagerungsklassen herleiten zu können.

Wenn nun aber Lagerungsklassen anstatt Substratklassen in diesem Modellschritt notwendig sind und sogar der Ansatz formuliert wird, Nährstoffstufen innerhalb der Kombination aus BFG und SUBLAG zu modellieren, also in eng definierten Einheiten, dann könnte angenommen werden, dass innerhalb dieser Einheiten keine nennenswerte Variation besteht. Das bedeutete, nur eine Angabe machen zu müssen. Dies ist aber nicht der Fall: In größeren Einheiten, die aus vielen Polygonen aufgebaut sind, sind mehrere Nährstoffkennzahlen nennenswert häufig. Deshalb wäre es auch oft unpassend, sich für die häufigste zu entscheiden: Der Anteil der fehlbelegten Zellen wäre groß.

Bringt man beide Informationen zusammen, so ergeben sich Einheiten (BFG-SUBLAG), in denen Nährstoffstufen laut Kartierungswerten relativ wenig variieren. Wenn in der Einheit keine Variation besteht, ist eine einfache Zuordnung der kartierten Nährstoffkennzahl zu der modellierten Einheit durchführbar. UNTERBERGER & H. WOBST (1985:14ff) verdeutlichen die Definition von Standortstypengruppen bestehend aus Wasserhaushalt und Substrat / Lagerung¹¹ in Zusammenhang mit der Nährstoffversorgung für einen Teil des Rev. Gittelde. Sie betonen dabei allerdings die Bedeutung der Lagerungsverhältnisse für die Nährstoffversorgung. Ein Beispiel daraus ist: Steinige Kalkverwitterungslehmböden (~SUBLAG 41) und frische bis mäßig sommertrockene Kämme, Kuppen und schmale Rücken (~BFG 26) und Nährstoffversorgung „gut“ (5).

Meistens kommt aber eine Variation vor. Theoretisch ergeben sich 18560 Kombinationen der drei Standortkomponenten Wasserhaushalt, Nährstoffversorgung und Substrat / Lagerung (29 WH * 16 NÄH * 40 SUBLAG). Auch wenn davon nur 10 % standörtlich sinnvoll vorkommen, sind vorstrukturierende Mechanismen dringend notwendig. Eine Hauptfrage ist die nach der Handhabung der Variation.

Eine zweite Hauptfrage lautet: Warum ist die Annahme begründet, dass innerhalb der beschriebenen Einheiten mit Hilfe von geomorphologischen und geländeklimatischen Variablen, die in dieser Situation nur noch zur Verfügung stehen, eine sinnvolle Differenzierung durchgeführt werden könnte? Die Variablen der GK25-Ableitungen (7.1.4.1.8) sind bereits benutzt worden, um SUBLAG-Klassen herzuleiten und können demnach hier nicht mehr differenzierend wirken.

In Anbetracht der Vorstellung, dass sowohl die Streu der Bestände als auch das Lockermaterial der Böden fast ausnahmslos hangabwärts transportiert werden und bei diesem Transport auch ein Einarbeiten des organischen Materials in den Boden stattfinden kann, sollte man annehmen, dass die besser nährstoffversorgten Standorte in den tieferen Lagen zu finden sind. MOORE et al. (1993:449ff) entsprechen dem: „*organic matter content increases downslope*“. Das gleiche drückt sich im Prinzip in der separaten Ausweisung von Kolluvien gegenüber anderen Lagen aus (2.3.2.1). Dieser Sachverhalt findet sich aber sowohl innerhalb der Kolluvien (7) als auch im Fall der mächtigeren Decken anderer Substratklassen und zwar nicht nur in den oberen Zentimetern eines Profils, sondern auch bis in größere Tiefen (EBERL 1999, mündl.). Insofern müßte die Modellierung der Nährstoffstufen auf geomorphologische Variablen zurückgreifen können.

¹¹ keine konkreten Substrat / Lagerungszahlen bei Unterberger & H. Wobst (1985) genannt

Die nächste Frage ist aber, in welchen GFO-Klassen dies ermöglicht werden soll. Die Ebenen sind auch im Bergland zuweilen relativ weit ausgedehnt. In der BFG-Klasse 9, also gleichzeitig in der GFO-Klasse Ebene, stellt sich die Verteilung z.B. im Fall von SUBLAG 23 im Bramwald wie folgt dar:

NÄH	3-	3	3+	4-	4
NÄHumg	15	16	17	18	19
%	1,0	1,5	17,5	40,0	40,5

Nährstoffvariation gibt es also durchaus innerhalb einer BFG-SUBLAG-Einheit der Ebenen. Es gibt aber keinen Grund zu der Annahme, diese Verteilung modellieren zu können, da geomorphologische Variablen die Differenzierung kaum erklären könnten. Ähnliches wie für die Ebenen gilt für die Problem-GFO-Klasse Stauwasser (1215), denn sie tritt vornehmlich in schwach geneigten Bereichen auf (7.3.2). Vor allem ist aber in der aktuellen Situation die Trennwirkung von geomorphologischen Variablen schon in dem Maße beansprucht, dass sie nur noch sinnvoll zur Differenzierung von (größeren) Hangpartien geeignet sein dürften.

Man könnte im übrigen die Meinung vertreten, dass dann allerdings auch keine BFG-Differenzierung innerhalb GFO 911 der Substratklassen 2456 und 3 möglich sein dürfte (7.3.4). Es besteht hier aber ein deutlicher Unterschied zur BFG-Modellierung: Die aktuelle Modellierung agiert in Einheiten, die um zwei Level weniger aggregiert sind als es bei der BFG-Modellierung der Fall ist: BFG wird in der Kombination GFO-SUB ausgewiesen, Nährstoffstufen sollen nun in BFG-SUBLAG hergeleitet werden.

Das Beispiel der vorangestellten Übersicht zeigt auch die ungeeignete Wahl der häufigsten Klasse, wenn die Verteilung linksschief oder rechtsschief ist und der häufigste Wert ein Extremwert ist. Wenn die beiden seltenen Stufen vernachlässigt werden und demnach nur drei Stufen zur Wahl stehen, ist 4- angebracht. Ein automatisiertes System, was die häufigste wählt, entscheidet aber für 4. Deshalb muss ein anderer Mechanismus festgelegt werden.

Anders als bei den Hängen wird in kleineren Einheiten, die zu den GFO-Klassen Tal_{schmal}, Tal_{grw} und Rücken gehören, das Nährstoffwertespektrum eng sein, so dass hier eine Differenzierung nicht verlangt wird. Unter Ausschluß der meisten GFO-Klassen werden auch gleichzeitig die Einheiten unter Beteiligung der Substratklasse 7, Kolluvien, als nicht differenzierungswürdig eingestuft, da in diesem Substrat nur GFO Tal_{schmal} und Tal_{grw} modelliert werden (7.2.4). Durch die Ausgrenzung aller GFO-Klassen außer 1725 ist ein Großteil der BFG-Klassen ebenfalls ausgegrenzt (vgl. Tab. 14, Tab. 5 und Tabelle im Anhang).

Werden nun fast alle GFO-Klassen aus dem Modellierungsansatz wegen zu geringer Ausdehnungen oder wegen nicht zu erwartender Differenzierbarkeit verbannt, bleibt nur GFO 1725, der Hang. Er weist neun BFG-Klassen auf (Tab. 5). Sie müssen mit SUBLAG-Werten kombiniert werden. Die Kombination wiederum kann aber auch zu „kleinen“ Ausdehnungen der Basiseinheiten führen. Diese Kombinationen dürften genau wie Nicht-Hang-Einheiten auch nur eine direkte Zuordnung *einer* Nährstoffstufe erfahren. Wie ist aber eine „kleine“ Einheit der Hänge zu definieren? Ob eine Einheit klein oder selten ist, hängt auch von dem Modellierungsgebiet ab, das zur Verfügung steht. Erfahrungsgemäß sind aber diejenigen Kombinationen, die die extremeren BFG-Klassen einbeziehen, seltener und kleiner.

Außerdem kann man mit einiger Wahrscheinlichkeit behaupten, dass eine Differenzierung überflüssig oder unbegründet ist, wenn eine Nährstoffstufe einen sehr großen Anteil einnimmt. Bei den Klassen außerhalb GFO Hang wird 50 % angesetzt, weil die Wahl einer anderen Stufe zu einem größeren Fehler führen würde. Bei den Klassen innerhalb GFO Hang wird 75 % angesetzt, weil eine gute Trennbarkeit von der anderen Stufe, die maximal 25 % ausmachen kann, unwahrscheinlich ist. Die mit >75 % häufigste Stufe ist ohnehin die wahrscheinlich adäquate Stufe in der BFG-SUBLAG-Einheit.

Im Bereich GFO Hang muss danach aber noch gutachterlich entschieden werden, ob es bei den verbleibenden Einheiten sinnvoll sein kann, eine Differenzierung auf statistischem Weg zu betreiben. Dies kann sich danach richten, ob genügend Polygonflächen dieser Einheit vorhanden sind, um abgesichert zu arbeiten.

Exkurs: Nährstoffstufen und Wasserhaushaltsvarianten

Auf die Herleitung von Wasserhaushaltsvarianten wurde verzichtet (7.4). Häufige Varianten innerhalb der Hänge bei gleicher Lagerung und BFG-Zahl sind „frischer“ und „trockener“ (f und t). Diese beiden Ausprägungen sind in Relation zu der Ausprägung ohne Variante aber tendenziell am Unter- bzw. Oberhang zu erwarten. Hier liegt also im Prinzip die gleiche These wie bei der von „oben“ nach „unten“ gestaffelten Nährstoffversorgung zugrunde. Außerdem wird in diesem Abschnitt postuliert, dass die Nährstoffversorgung u.a. mit der Wasserversorgung zusammenhängt. Wenn nun die Varianten beim Modellieren ausgeklammert werden, kann eine an die unterschiedlichen Wasserverhältnisse gekoppelte Nährstoffversorgung eventuell nicht direkt modelliert werden, sondern vielmehr indirekt über eine gleichzeitige, unbewusste BFG-Variantenmodellierung. Um dieses Gefüge zu entzerren, müßten entweder Nährstoffstufen innerhalb von Einheiten aus BFG-SUBLAG und Variante oder nur in BFG-SUBLAG-Einheiten ohne Variante versucht werden zu modellieren. Diese Schachtelung würde aber in Anbetracht der Basisdatenlage zu weit führen. Sie muss aber auch nicht unbedingt ausgeführt werden, denn im Gesamtmodell kommt es nur darauf an, auf Zellenbasis plausible Standortinformationen abzubilden. Hier werden also in bekannten BFG-SUBLAG-Einheiten, die Varianten beinhalten, plausible Nährstoffstufen ausgewiesen. Ob diese Klassen mit Wasserhaushaltsvarianten korrespondieren, wird weder in Karten der Ergebnisse ersichtlich, noch muss es textlich erläutert werden.

Exkurs: Polygonfläche oder Polygonanzahl

Bei der Herleitung einer Nährstoffstufe für die aus Wasserhaushalt und Substrat / Lagerung aufgebauten Einheiten war anfangs fraglich, ob auf Basis von Polygonfläche oder Polygonanzahl argumentiert werden sollte. Standortstypenpolygone sind sehr unterschiedlich groß. Während man ein sehr kleines Polygon leicht als einen Probanden bzw. eine Meßlokalisierung auffassen kann, stellt sich bei großen Polygonen die Frage, ob die Information aus einer Vielzahl von Einzelinformationen besteht und ob man deshalb die Flächengröße als Gewichtungsfaktor bei der Bewertung nutzen darf. Dieses konzeptionelle Problem würde es bei der Nutzung von einzelnen Meßorten wie z.B. Bodenprofilen nicht geben. Was soll aber in dieser Modellsituation erreicht werden? Eine flächenhafte Einheit, aufgebaut aus der Kombination BFG-SUBLAG, soll eine oder mehrere plausible Nährstoffstufen tragen. Innerhalb dieser Einheit kann eine extreme Stufe besonders bezüglich der Polygonanzahl häufig vorkommen; sind diese Polygone aber klein, belegen sie nur einen kleinen Raum. Die Entscheidung zugunsten dieser Stufe wäre auf Basis der Polygonanzahl irreführend, wenn einzelne Nährstoffstufen unterschiedliche Polygongrößen aufweisen. Somit sollten Flächengrößen (~ die Zellenanzahl) herangezogen werden (Tab. 59).

Regularien

Nach Status der Modellierung und Abwägung der Ansprüche ergeben sich somit folgende Prämissen:

- 1 In Nicht-Hang-Einheiten ist nur eine Stufe herzuleiten.
In Hangeinheiten sind mehrere oder bei Eindeutigkeit nur eine Stufe herzuleiten.
- 2 Wenn nur eine Stufe außerhalb GFO Hang verlangt wird, fällt die Entscheidung wie folgt:
 - a wenn eine Stufe > 50 % ausmacht, fällt die Entscheidung auf sie
 - b Stufen mit < 10 % Anteil werden ignoriert, dann
 - c bei zwei verbleibenden Stufen: die häufigste (sie kann < 50 % aufweisen)
 - d bei drei verbleibenden Stufen: die mittlere
 - e bei vier verbleibenden Stufen: die häufigste der beiden mittleren
 - f bei fünf verbleibenden Stufen: die mittlere (mehr als fünf Stufen kommen nicht vor)
- 3 Nur eine Stufe innerhalb GFO Hang wird vergeben, wenn die Stufe >75 % Anteil aufweist
- 4 Es wird gutachterlich entschieden, bei welchen Einheiten eine Differenzierung erfolgreich sein kann.
- 5 Wenn mehrere Stufen innerhalb GFO Hang vergeben werden sollen, ist die Frage, wieviele praktikabel und notwendig sind. Aus pragmatischen Gründen wurde entschieden, zwei Werte zu vergeben, gewissermaßen für die schlechteren und besseren Standorte innerhalb BFG-SUBLAG. Ein Median oder Mittelwert, der die Datenbasis trennen könnte, läßt sich bei nichtnumerischen Basisdaten schwerlich herleiten. Deshalb wird wie folgt verfahren:
 - a Es werden maximal die vier häufigsten Nährstoffstufen, die je >10 % aufweisen, herangezogen.
 - b Der Datensatz wird so aufgeteilt, dass die schlechtere und bessere Gruppe ähnlich groß sind.
 - c Die Benennung der beiden Stufen folgt den beiden Stufen, an denen die Aufteilung stattfindet.
 Es kann vorkommen, dass die häufigste Stufe nicht benennend auftritt. Wenn aber die Gliederung der Basis und die Vergabe der Zielstufen klar ist, nämlich nach besserer und schlechterer Stufe, ist dieses Manko nicht sonderlich negativ zu beurteilen.

Dieses Vorgehen bedeutet methodisch eine Zweiteilung der Nährstoffstufenherleitung, einerseits

- regelhaft je nach Häufigkeitsverteilung der kartierten Klassen und andererseits
- statistisch per Diskriminanzanalyse.

Diese Zweiteilung ist für kleinere Einheiten auch deshalb sinnvoll, weil in ihnen ohnehin eine Differenzierung schwer abzubilden ist; es bestände sonst also auch ein kartographisches Problem.

Beispiele für die Stufenauswahl als Vorbereitung für die statistische Differenzierung je nach Anteilen und die Gruppierung in schlechter / besser zeigt Tab. 59.

Tab. 59: Beispiele der Gruppierung kartierter Nährstoffkennzahlen je Kombination aus BFG und SUBLAG.

Beispiel	Nährstoffstufe →	3	3+	4-	4	4+
1	Anteile %	1	20	40	14	25
	Modellierung	nein	ja	ja	ja	ja
	Gruppierung	-	schlechter	schlechter	besser	besser
2	Anteile %	1	59	20	10	10
	Modellierung	nein	ja	ja	ja	ja
	Gruppierung	-	schlechter	besser	besser	besser
3	Anteile %	1	9	50	20	20
	Modellierung	nein	nein	ja	ja	ja
	Gruppierung	-	-	schlechter	besser	besser

Ein zentraler, limitierender anwendungsbezogener Faktor, der auch im Hintergrund der gesamten Arbeit steht, ist aber die Verfügbarkeit der GK25-Information (5.3.2). Ohne sie und somit ohne Lagerungsklassen kann keine differenzierte Nährstoffstufenherleitung erfolgen. Bestenfalls könnten einfache Aussagen wie die, dass in Substrat 7 recht hohe Werte vorkommen, gemacht werden. Wenn die abgebildete Information aber so wenig differenziert wäre, könnte auf eine Herleitung der Nährstoffkennzahlen verzichtet werden. Somit gilt abschließend: Nährstoffstufen ergeben sich sinnvoll nur in BFG-SUBLAG-Einheiten, die ihrerseits GK25-Information erfordern.

7.5.2 Modellumsetzung

(Modellnummer MN 37). Ein technisch-anwendungsbezogenes Problem ist die große Anzahl der durch Kombination entstehenden Einheiten. Wenn auch in der aktuellen Datenbasis knapp 200 Einheiten auftreten, so können bei Erweiterung der Datenbasis mindestens einige Dutzend hinzukommen, die hier noch nicht bewertet werden können. Aber auch die vorhandenen Einheiten können nicht umfassend besprochen werden. Wenige werden herausgegriffen, um das Prinzip aufzuzeigen.

a Zuordnung in BFG-SUBLAG-Einheiten außerhalb GFO Hang

Ein Beispiel für die Entscheidung bei nur zwei Stufen, die nach dem Löschen der kaum vorkommenden verbleiben, ist BFG-SUBLAG 3-72. Es handelt sich um ein sehr frisches bis nachhaltig frisches, schmales Tal (3) in Kombination mit einem 2-7 dm mächtigen Kolluvium über basenarmen Silikatgestein (72) (Tabelle im Anhang). Die Entscheidung fällt auf die häufigere Stufe, 4 „ziemlich gut versorgt“:

NÄH	4	4+
NÄHumg	19	20
Anteil %	49	48

Ein Beispiel für die Entscheidung bei drei verbleibenden Stufen ist BFG-SUBLAG 9-44. Es handelt sich um eine frische Ebene (9) in Kombination mit einem von 4-7 dm mächtigen Lockermaterial bedeckten Kalk (44) (Tabelle im Anhang). Die Entscheidung fällt auf die mittlere Stufe, 5 „gut versorgt“:

NÄH	5-	5	5+
NÄHumg	21	22	23
Anteil %	38	46	16

Ein Beispiel für die Entscheidung bei vier verbleibenden Stufen ist BFG-SUBLAG 7-71. Es handelt sich um ein grundwasserbeeinflusstes Tal (7) in Kombination mit einem mächtigen Kolluvium (71). Die Entscheidung fällt auf die häufigere der beiden mittleren Stufen, 4 „ziemlich gut versorgt“:

NÄH	4-	4	4+	5-
NÄHumg	18	19	20	21
Anteil %	30	28	16	26

b Modellierung in BFG-SUBLAG-Einheiten innerhalb GFO Hang

Entgegen den Modellen z.B. für GFO-Klassen innerhalb von Substratklassen (7.2) ist hier keine Festlegung der Modellierungsreihenfolge notwendig, weil nur in zwei Stufen getrennt wird.

Bei 9 BFG-Klassen und 40 SUBLAG-Klassen sind theoretisch 360 Kombinationen und somit Teilmodelle ausführbar. Standortlich begründet werden viele davon nicht vorkommen, z.B. BFG 25 und

SUBLAG 31, ein sommertrockener Sonnhang auf mächtigen Lössen. Es drängt sich auf, durch Zusammenfassung die Teilmodellanzahl zu reduzieren. Innerhalb einer GFO-Klasse und auch innerhalb einer Substratklasse sind die Verhältnisse aber so unterschiedlich, dass die Betrachtung auf dem Level BFG und SUBLAG propagiert wird. Es darf auch nicht ignoriert werden, dass Zusammenfassungen arbeitsaufwändig sind. Werden sie unzureichend ausgeführt, können die Folgeergebnisse falsch sein. Deshalb bleibt nur, dem Ansatz konform zu handeln und nach und nach je nach Auftreten von Kombinationen Teilmodelle zu formulieren, die in schlechtere und bessere Nährstoffstufen trennen.

Solange nicht jedes Teilmodell aufgestellt werden kann, sich aber eine BFG-SUBLAG-Kombination in einem Anwendungsgebiet durch die separate Herleitung von BFG und SUBLAG ergibt, muss ein Teilmodell ähnlicher Kombination einspringen. Als Beispiel ist denkbar, ein fehlendes Modell der Kombination BFG 18 - SUBLAG 33 durch BFG 22 – SUBLAG 33 zu ersetzen, also eine Schatthang - Löß - Kombination durch eine Sonnhang – Löß – Kombination.

Anfangs sollten Teilmodelle für alle Kombinationen aus BFG und SUBLAG ausgeführt werden, die kartiert im Modellierungsgebiet auftreten und nicht durch das 75 %-Kriterium (s.o.) abgehandelt werden können. Dies erschien in diesem Rahmen zu aufwändig.

Danach sollten Teilmodelle für alle Kombinationen aus BFG und SUBLAG ausgeführt werden, die kartiert im Validierungsgebiet auftreten. Dann könnte für diesen Raum eine vergleichende Abbildung erstellt werden. Insgesamt existieren dort 59 Kombinationen, 36 davon, die als „größer“ eingeordnet wurden und demnach ein eigenes Teilmodell aufweisen müssten. Einige von ihnen wären recht einfach abzarbeiten, weil das 75 %-Kriterium greifen würde. Die meisten weisen aber Variation im Sinn der Tab. 59 auf und müssten separat bearbeitet werden. Zwei davon wurden gewählt:

Tab. 60: Gruppierung von Nährstoffkennzahlen ausgewählter Kombinationen aus BFG und SUBLAG.

Beispielkombination	Nährstoffstufe (umgerechnet) →	andere	3+ (17)	4- (18)	4 (19)
19-23	Anteile %	2	11	31	56
	Modellierung	nein	ja	ja	ja
	Gruppierung	-	schlechter	schlechter	besser
23-23	Anteile %	4	16	33	47
	Modellierung	nein	ja	ja	ja
	Gruppierung	-	schlechter	schlechter	besser

Die Verteilung innerhalb der Einheiten 19-23 und 23-23 ist gleichsinnig (Tab. 60). Insofern kann hier eine Zusammenfassung vorgenommen werden. Stufe 3+ und 4- ergeben die „schlechtere“, 4 die „bessere“ Stufe. Dieser relativ große Hangbereich ist geeignet, ein Ergebnis auch kartographisch zu präsentieren.

Da die Variablenwahl mit den üblicherweise in dieser Arbeit angesetzten Schwellen pR^2E und pR^2S 0.02 ergebnislos war, wurden die Schwellen auf 0.005 herabgesetzt:

- MN 38, „Schlechtere“ gegen „bessere“ Stufe in BFG-SUBLAG 19-23 und 23-23 (etwa je 5.000 Z):

Step	In	Entered	Removed	pR^2E	pR^2S	WL	ASCC	er %	Besonderheiten / Anmerkungen
1	1	PATHOE		0.03	0.01				
2	2	SLOF		0.01	0.02				
3	3	FLI-L		0.01	0.03				
4	4	EUCTIEW		0.01	0.01				
5	5	SLODIS9		0.01	0.01				
6	6	HOEDIFTIE		0.01	0.01	0.93	0.07	38	bessere Stufe zu gering ausgedehnt

Insgesamt ist die durch den ASCC suggerierte Trennbarkeit sehr gering. Der Form-Lage-Index FLI-L ist neben der Neigung SLOF am bedeutsamsten. Reklassifikation ergibt eine *error rate* von 38 %, wobei auch die Klassengröße von der Vorgabe abweicht. Dieses Modell ist nicht günstig. Wie sieht das Übertragungsergebnis aus ?

Bei Übertragung bzw. Anwendung der Modelle kann in einem ersten Versuch ohne anwenderbestimmte *a-priori*-Werte gearbeitet werden. Das bedeutet, die aktivierten *a-priori*-Werte sind proportional bzw. gleich. Im DBI-2-Datensatz sind sie im Prinzip gleich, weil nur geringe Unterschiede in der Zellenanzahl bestehen. In einem ersten Anwendungsversuch ergeben sich dann nicht unbedingt gleiche Zielstufengrößen, sondern Größen, die dem Wertespektrum in dem Bereich bzw. Raum angepasst sind. Dies ist durchaus erwünscht und kann neben einer vorgeschalteten, gutachterlichen Einschätzung der Stufengrößen geeignete Hinweise auf anzustrebende und realitätsnahe Stufengrößen geben.

In dieser Situation tritt die schwierige Vergleichbarkeit von Referenzkartierung und Modell am stärksten auf, weil es sich um einen der letzten Modellierungsschritte handelt, der auf allen anderen zuvor modellierten Klassen aufbaut: Dort, wo sie bereits von der Kartierung abweichen, ist keine wirkliche Vergleichbarkeit gegeben. Deshalb wurde hier abweichend von anderen Abbildungen (Bsp. Abb. 56), die Modellumsetzung in kartierten, nicht modellierten Flächen visualisiert.

Trotz der schlechten Modellvorgaben ist aber der Effekt der Variablen entscheidend: Je höher bzw. je offener die Lage am Hang ist, desto geringer ist -wie erwartet- die Nährstoffkennzahl (Abb. 62).

Die im Prinzip regelhafte Herleitung der Nährstoffzahl anhand nur der Häufigkeit kartierter Werte wird mit Modellnummer MN 37 versehen, wohl wissend, dass es sich hier im Gegensatz zu den anderen Standortklassifikationen nicht um ein „Modell“ handelt. Die statistische Differenzierung im Hangbereich trägt Modellnummer MN 38.

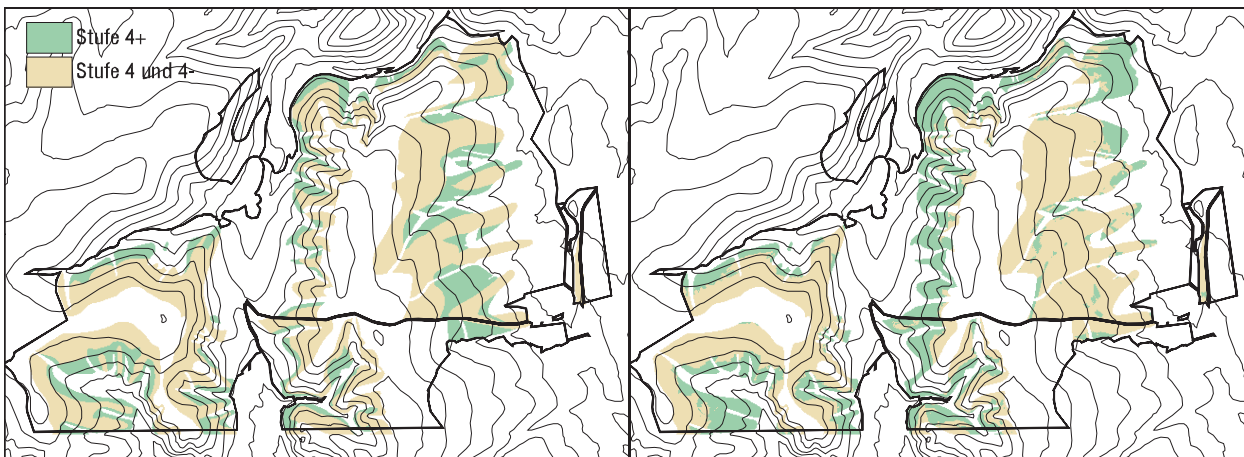


Abb. 62: Kartierte und modellierte Nährstoffstufen innerhalb der BFG-SUBLAG-Kombinationen 19-23 und 23-23. Validierungsgebiet, Ausschnitt 3548100 5729300 3555300 5734100. Maßstab 1:80.000. 20 m Äquidistanz.

Exkurs: Eignung in Hinblick auf die Dynamik der Standortmerkmale

Bei KOPP & SCHWANECKE (1994:11) wird auf das Charakteristische der Standortkartierung in den ostdeutschen Bundesländern verwiesen: Es werden Stamm- und Zustandseigenschaften unterschieden. „Stammeigenschaften sind die vom Menschen schwer beeinflussbaren Standortseigenschaften, ...“ Da beide getrennt erfaßt werden, müssen bei Änderung des Zustands nur diese Karteninhalte aktualisiert werden. In diesem Sinn stellt das vorliegende Standortmodell für Wasserhaushalt und Lagerung nur die Stammeigenschaften dar; es beruht auf geomorphologischen und geländeklimatischen Faktoren, die

schwerlich in solchem Maße beeinflussbar sind, wie die Faktoren, die den aktuellen Ober- und Unterbodenzustand, etwa durch Versauerung und Stickstoffeinträge, modifizieren.

Da aber Nährstoffstufen anhand der Kombination aus Wasserhaushalt und Lagerung auf Basis der etwa 9.000 ha relativ aktuell kartierter Fläche hergeleitet sind, ist indirekt auch das Wissen zu dem aktuellen bodenchemischen Zustand integriert: Bei z.B. ungünstigen Humusformen in Bereichen bestimmter Wasserhaushalts / Lagerungsklassen erfuhrt die kartierte Nährstoffkennzahl bereits einen Abschlag. Insofern beschreibt die hergeleitete Nährstoffstufe eher eine Zustandseigenschaft, die anderen beiden Standortkomponenten eher Stammeigenschaften.

Folgendes müßte berücksichtigt werden, wenn Nährstoffstufen anhand von primären, z.B. geologischen Daten hergeleitet werden sollten: Der in letzter Zeit diskutierte Einfluss des Grobbodens, der bei Verwitterung seiner Komponenten „frisches“ Gestein freigibt und somit zur Nachlieferung chemischer Elemente beiträgt, müßte einbezogen werden. Vordringlich zu quantifizieren ist dabei die Kenntnis der Grobbodenanteile in der Feinbodenmatrix. Außerdem ist die effektive Porosität der Gesteine für die diffusiven Prozesse neben dem „Massenfluß“ im Gestein von hoher Bedeutung, wie DEUTSCHMANN (1994:92f) schreibt. Dort wird die Pufferungsmöglichkeit von Sand- und Tonsteinen, gegliedert in Fein- und Grobboden (faustgroße, kopfgroße Steine), vor der Hintergrund der Umbelegung der unerwünschten Al^{3+} - Belegung (Versauerung) dargestellt. „Aus allen durchgeführten Untersuchungen geht eindeutig hervor, dass das Gestein an Austausch- und Pufferprozessen beteiligt ist.“ DEUTSCHMANN (1994:165).

Zu diesem Thema äußerte sich auch KOHLER (2002) in einem Vortrag an der Fakultät für Forstwissenschaft und Waldökologie Göttingen: Er konnte anhand von Perkolationsversuchen und wiederholten Elementextraktionen die Frage, ob Nährelemente des Bodenskeletts kurzfristig mobilisierbar sind und sich somit ein aktiver Speicher ergibt, für Standorte des Schwarzwaldes bejahen. Er spricht von einem „diffusen Nachladen der Austauscher“, wenn man dem Boden einen gewissen Zeitraum dazu zur Verfügung stellt. Der Beitrag des Skeletts an Gesamtvorräten (Mg, Ca) des Bodens sei an Meßpunkten der Bodenzustandserhebung im Schwarzwald beachtlich. Auch konstatiert er, dass die freigesetzten Elemente für die Bestände verfügbar sind, weil Feinwurzeln und symbiotische Pilzhyphen auch an den Bodenskelettoberfläche vorhanden seien.

Weiter müssten die in den letzten zwei Jahrzehnten durchgeführten Kompensationskalkungen quantitativ und qualitativ berücksichtigt werden: Die Kalkmengen, der Ausbringungsturnus und die Kalkart müßten bekannt und auf Referenzflächen die Wirkung dieser Größen hergeleitet sein, um den Bezug zu anderen bekannten Standortgrößen herzustellen.

7.6 Abschätzung der Flächenanteile von Zielklassen

Die vorangegangenen Modellschritte implizieren, dass für eine erfolgreiche statistische Modellierung die Einschätzung der Ausdehnung von Zielklassen wichtig ist. Mit Hilfe von *a-priori*-Werten, die bei der Übertragung eines Modells auf den Zieldatensatz(-raum) einzusetzen sind, wird die modellierte Ausdehnung beeinflusst. Dabei entspricht der einzelne *a-priori*-Wert der anteiligen Ausdehnung nicht genau. Vielmehr werden die einzusetzenden Werte so gewählt, dass damit unter Benutzung von bestimmten Informationslagen, die unter der Prämisse gleich großer Klassen selektiert und festgelegt wurden, eine bestimmte Größenverteilung erreicht wird. Dabei wurde das für Klassengleichheit gefundene Modell benutzt. Somit ist primär nicht der *a-priori*-Wert abzuschätzen, sondern der

anzustrebende, anteilige Zielwert einer Klasse. Wenn er bekannt ist, ist es möglich, den *a-priori*-Wert iterativ zu justieren.

Es sind drei prinzipiell unterschiedliche Vorgehen denkbar, geeignete, anzustrebende Klassenanteile für die Modellierung eines Forstamtes oder eines anderen Übertragungsraums zu erhalten:

- 1 Erste Modellierung einer Ausdehnung mit gleichen *a-priori*-Werten und gutachterliche Prüfung der Plausibilität, danach Verminderung o. Ausdehnung der Klassen durch Änderung der *a-priori*-Werte.
- 2a Einschätzung durch Kartierer bei Geländebegehung.
- 2b Orientierung an dem Höhenlinienbild in Karten.
- 2c Orientierung an der Verteilung oftmals relevanter geomorphologischer Merkmale (Variablen).
- 3a Wahl von Variablen zwecks Clusteranalyse anhand der Ergebnisse der Modellaufstellungen (Kap. 7).
- 3b Clusterbildung.
- 3c „Parallelisierung“ einer Standortklasse mit einem Cluster, wenn sich die beiden Klassen in räumlicher Verteilung und Form entsprechen. Dies könnte visuell geprüft und entschieden werden, sofern tatsächlich ähnliche Klassen vorhanden sind.

Ad 3: Anfangs bestand die Annahme, Klassenanteile im Zielgebiet auch statistisch im Vorfeld der eigentlichen Modellanwendung „schätzen“ zu können, um daran die benötigten *a-priori*-Werte zu justieren. Dabei war an eine Clusteranalyse gedacht. Die Theorie war, zur Schätzung der Anteile einer Klasse K1 gegenüber allen anderen Klassen einer Aggregationsstufe diejenigen Variablen zu verwenden, die bei der Aufstellung der Diskriminanzmodelle verwendet wurden. Ohne eine Standortklassenvorgabe sollten daraus jeweils zwei Cluster gebildet werden, gewissermaßen „natürliche“ Gruppierungen der Zellen eines Gebietes. Zellen werden so gruppiert, dass sich die beiden Cluster stark unterscheiden.

In einer Situation, in der eine Klasse K1 gegen Andere getrennt werden soll und dabei die Anderen aus mehreren Standortklassen gebildet werden, liegt aber das ganze Wertespektrum zugrunde, also auch der Wertespektrenbereich, in dem die Sammelklasse „Andere“ anschließend weiter getrennt werden muss. Ein Test wurde für die Trennung von GFO Rücken gegen Andere innerhalb von Substrat Festgestein ausgeführt. Benutzt man die Variablen von Modell MN 12 (7.2.2), so wird der Bereich in zwei Cluster getrennt, aber es ergibt sich eher eine Halbierung des Raumes als eine Ausweisung eines relativ kleinen Teilbereiches, den man als Rücken einschätzen könnte. Die Bildung der Diskriminanzfunktion zur Trennung von Rücken und Anderen war ebenso darauf ausgerichtet, zwei etwa gleich große Klassen zu trennen, insofern verwundert die ungeeignete Klassengrößenverteilung nicht.

Eine Alternative wäre, so viele Cluster bilden zu lassen, wie die aktuelle Aggregationsstufe Klassen aufweist. Bei GFO innerhalb Substrat Festgestein sind es fünf Klassen. Dazu müssten entweder alle Variablen einbezogen werden, die in den vier Modellen zur Trennung der fünf Klassen Verwendung finden oder zumindest die vier Variablen, die jeweils die höchsten Beiträge zur Trennung leisten.

Im ersten Fall sind es fünfzehn Variablen (aus MN 12 – 15). Eine Clusterbildung damit führt aber nicht zu sinnvoller Strukturierung des Raumes, was bei so hoher Variablenzahl nicht überrascht, denn es müssen Cluster in einem fünfzehn-dimensionalen Merkmalsraum festgelegt werden. Dass sie mit den Ziel-GFO-Klassen korrespondieren ist unwahrscheinlich.

Im zweiten Fall wurde ebenso keine sinnvolle Clusterbildung ausgeführt: Dies wird damit zusammenhängen, dass zu wenig der Information vorgegeben wird, die zur Trennung der angestrebten Klassen bzw. Cluster notwendig ist.

Somit bleibt die Frage, welche Variablen zur Clusterbildung verwendet werden sollten, unbeantwortet; es gibt keine offensichtliche Möglichkeit, aus der Vielzahl aller Variablen geeignete auszuwählen, es sei denn, man würde nach und nach alle Variablen testen. Damit würde man aber in den Bereich der Beliebigkeit gelangen.

Cluster sind natürliche Klassen, die dem Wertespektrum der Variablen entspringen. Standortklassen hingegen ergeben sich durch die Wertung vor einem bestimmten Anwendungshintergrund, hier der Standortkartierung. Insofern ist es eine zu optimistische Vorstellung, durch Clusterbildung Klassenausdehnungen leicht abschätzen zu können.

Daraus folgt, sich auf die beiden o.g. Vorgehen 1 und 2 einzuschränken. Zu Vorgehen 2, insbesondere zu 2c, werden folgende Variablen vorgeschlagen, weil sie relativ häufig zur Trennung von Standortklassen herangezogen werden (vgl. Tab. 61 und Tab. 62, Karte 1a bis 1c im Anhang).

- EXP210 (5.2.4.1)
- FLI-IL (5.2.3.10)
- EXPSUMNAH (5.2.3.5)

Ein anderer Aspekt ist abschließend zu nennen: Nach der Geländekartierungsphase liegen Bohrmanuale und Profilbeschreibungen in Zukunft eventuell digital vor. Sie könnten relativ leicht zur Orientierung für einzusetzende *a-priori*-Werte benutzt werden. Das heisst, es kann durchaus für die zwei Hauptphasen einer Kartierung zwei unterschiedliche *a-priori*-Werte je Modellklasse geben: Als Vorschlag vor der Kartierung und bei der Umsetzung der Geländeergebnisse zur eigentlichen Karte.

7.7 Visualisierung der Ergebnisse

7.7.1 Generalisierung und Zusammenführung der Standortkomponenten

Im Extremfall hat eine Klasse nach Modellierung die Ausdehnung nur einer Zelle, also 10x10 m. Solche Zellen können in loser Folge über einen größeren Bereich gestreut sein. Es ist zu vergleichen, wie groß einzelne Standortklassenpolygone mindestens sind. Bei einem Maßstab der FSK10 von 1:10.000 hat ein noch leicht darstellbares und erkennbares Polygon von 3x3 mm Ausdehnung eine Fläche von 900 m². In der FSK10-Datenbasis z.B. des Westharzes weisen etwa 4.000 von 55.000 Polygonen eine noch kleinere Fläche, meistens um 400 m², auf. Somit ist in etwa abgesteckt, wie klein modellierte Flächen aus pragmatischer Sicht höchstens sein sollten. Einzelzellen sind deutlich zu klein. Es besteht also Bedarf, eine Generalisierung vorzunehmen, damit dem Nutzer der abgebildeten Information eine lesbare und interpretierbare Karte zur Verfügung steht. Dies ist ein anwendungsorientierter Grund. Darüber hinaus ist es auch GIS-technisch bzw. plottechnisch von Vorteil, die darzustellende Datenbasis zu generalisieren.

Ein alleiniges Eliminieren von einzelnen Zellen ist nicht sinnvoll, weil dann auch Zellen gelöscht würden, die an den Ecken Verbindung mit Zellen gleicher Klassen haben. Standortlich ist es ohne Belang, ob Zellen gleicher Werte an ihren Kanten oder Ecken anschließen. GIS-technisch ist dies durchaus von Belang, weil beispielsweise bei der Transformation von Zellen zu Vektorpolygonen nur dann eine Verbindung von Zellen auftritt, wenn sie über Kanten verbunden sind. Der Generalisierungsmechanismus sollte demnach nicht nur nach Größe entscheiden. Das GIS bietet Funktionen, die die über Ecken

verbundenen Zellen als Einheit auffassen lassen (*regiongroup*) und die Flächengrößen von verbundenen Zellen erkennen lassen (*zonalarea*, ESRI 1991).

Diese Funktionen wurden testweise zusammen mit Eliminierungsfunktionen wiederholt hintereinander geschaltet und dabei der Flächengrößen-Schwellenwert von 100 bis 400 m² variiert. Eine Variation zuerst vom kleinen zum großen Schwellenwert und danach umgekehrt (acht Schritte) führte zu akzeptablen Ergebnissen in der Verteilung der Klassen. Das Arbeiten in acht Schritten ist angebracht, weil sich jede umgebende Fläche fortwährend vergrößert, sobald in einem Schritt eine umgebene Zelle eliminiert wird. Eine Fläche, die ursprünglich als „zu klein“ gilt, kann somit über den angesetzten Größenschwellenwert hinauswachsen. Dieses Eliminieren oder Filtern wurde in den Karten 3b und 4b noch nicht zugrundegelegt, um ursprüngliche Modellergebnisse zu zeigen.

Standortkomponenten sind separat und verschachtelt modelliert worden. Es bestehen Ergebnisgrids zu den Komponenten Substrat (SUB), Lagerung (SUBLAG), Geländeform (GFO) und Bodenfeuchtigkeit und Geländeform (BFG). SUBLAG ist innerhalb SUB modelliert worden, BFG innerhalb einer Kombination aus GFO und SUB. Dort, wo eine Standortgrenze eine Grenze zwischen SUB und gleichzeitig GFO ist, verlaufen demnach die Grenzen von SUBLAG und BFG gleich. Ansonsten verlaufen die Grenzen nicht konform. An die Kombination von Lagerung und Wasserhaushalt wird der Vorschlag einer Nährstoffstufe gebunden, insofern sind die Standortkomponenten digital zusammzusetzen (~ Standortstypen). BFG und SUBLAG sollten als Karte bereitgestellt werden. Es wurde außerdem festgestellt, dass Informationen gefiltert werden müssten. So ergibt sich die Frage, wie die Reihenfolge aus Zusammensetzung und Filterung gestaltet sein sollte. Sollten die beiden Komponenten BFG und SUBLAG im Vorfeld generalisiert werden oder erst das Produkt der Zusammenführung? Dies ist klar zu entscheiden: Die Generalisierung sollte nach Zusammenführung erfolgen, weil sonst im Vorfeld Informationen verloren gingen, die in dem Maße sonst nicht verdrängt würden. Zur separaten Visualisierung der einzelnen Komponenten sollte dann auch die nach Generalisierung der kombinierten Daten entstandene Version benutzt werden, weil es sonst zu geringen Unterschieden von Wasserhaushalt bzw. Lagerung gegenüber den „Standortstypen“ bei kartographischer Darstellung kommen kann.

7.7.2 Herstellung adäquater Polygonform

Die Modellierung verläuft vollständig auf Rasterdatenbasis, obwohl in einem Anwendungsgebiet Vektordaten als Basis einbezogen werden (Polygone der GK25, 5.3, Linien der Strukturinformation, 7.2.9). Die Größe und Lage der Zellen sollte die der Höhendatenbasis sein. Sie weist nach bestimmten Transformationen der punkthaften Vektordaten eine Zellengröße von 10x10 m auf (5.2.2). Alle anderen Informationen sollten dahingehend justiert werden.

Das Modellergebnis in Rasterform kann schließlich zu Vektordaten transformiert werden. Sodann bieten sich weitere Möglichkeiten der Generalisierung, vor allem zum Lösen von der rechtwinkligen Polygonform. Das GIS bietet die Einstellungen der Dichte der Linienkoordinaten (*grain*) und auch Funktionen zum Glätten von Linien (*spline*) an. Durch Variation der *grain*-Einstellungen und Wiederholung der Glättungen kann eine „rundere“, bodenkundlich natürlichere Polygonform erzeugt werden, wie Tests zeigten.

Der Nachteil solch einer Bearbeitung ist, dass der Charakter der Unsicherheit der Modelle, der durch die Zellenstreuung angedeutet wurde, verschwindet: Die Modellergebnisse wirken somit etablierter, als sie sind. Auch sind die tatsächlichen Gegebenheiten im Gelände nicht so eindeutig differenzierbar, wie es gerundete Polygone suggerieren. Bei geglätteter Vektorform gilt die bei DAVIS & KELLER (1997:397) angesprochene Diskrepanz zwischen einer „*imprecise reality*“ und einer „*precise digital representation*“ um so mehr.

Umgekehrt ist es von Nachteil, wenn durch die rechtwinkligen Polygonformen eine Ablehnung der Information erreicht würde; Kartennutzer haben sich an die konventionelle, geglättete Darstellung bodenkundlicher Informationen gewöhnt und könnten deshalb rasterähnliche Darstellungen nicht akzeptieren. Abbildungen und Karten dieser Arbeit verwenden die rasterähnliche Darstellungsweise, um den Modellcharakter zu verdeutlichen.

8 ERGEBNISSE und DISKUSSION

In Kapitel 8 wird weitgehend darauf verzichtet, wie in Kapitel 7 anhand von Trefferquoten, Klassengrößen und ähnlichem zu argumentieren. Vielmehr wird versucht, den Gesamteindruck, den die Teilmodelle und das Verfahren als solches hinterlassen haben, zu formulieren.

8.1 Modelle

Tab. 61 zeigt die Modellnummern MN 1 – 38, also das Ergebnis des Modellkonstrukts. Es gibt bis zu sieben vorgeschaltete Modelle. Das drückt sich in verallgemeinerter Form in den Spalten „in GFO“ und „in SUB“ aus. Die Mehrstufigkeit und die Verschachtelung zeigt auch das Schema der

Methodische Betrachtung

Vornehmlich wird in dieser Arbeit per Diskriminanzanalyse (DA) oder regelbasiert (R) modelliert. Welche Methode war in einem Modellierungsbereich angebracht? Folgende Übersicht stellt die beiden Methoden in Bezug auf die zwei Standortkomponenten BFG und SUBLAG verallgemeinernd dar:

Methode	BFG	SUBLAG
regelbasiert	nein, keine Schwellen im GÖS	ja, Schwellen im GÖS, <i>alle</i> Klassen
Diskriminanzanalyse	ja, <i>nur kartierte</i> Klassen	nein, weil Kriterien zu vielfältig und nicht stringent anwendbar

Diskriminanzanalytisch *können* nur diejenigen Wasserhaushaltsklassen resultieren, die in der sog. ideellen Datenbasis kartiert vertreten sind. Regelbasiert *können alle* SUBLAG-Klassen resultieren. Lagerungsklassen sind weitestgehend durch Schwellenwerte des GÖS definiert, insofern sind die Regeln bekannt. Wenn die notwendigen Variablen vorhanden sind, funktioniert für Lagerungsklassen regelbasiertes Arbeiten. Die nicht stringent über alle Substrate anwendbaren Kriterien (vgl. 2.3.2.1, Tab. 4) sind nur regelbasiert umsetzbar. Dies war eine Prämisse, die sich aus dem Lagerungsklassengefüge ergab und die Modellbildung in zwei Bereiche lenkte: Den der Lagerungsklassen und den der Wasserhaushaltsklassen. Letztere sind bis auf wenige Ausnahmen dagegen nicht im GÖS über Schwellenwerte definiert, regelbasiertes Arbeiten ist somit schwerlich möglich. Die Methodenwahl hängt also stark von den Vorgaben der „Kartieranleitung“ ab.

Das regelhafte Vorgehen bei den Lagerungsklassen ist möglich, weil der GÖS die Regeln -anders als für den Wasserhaushalt- direkt bereitstellt. Eine DA der Lagerungsklassen für Teilräume wäre nur möglich, wenn es sich um wenige, verwandte Lagerungsklassen handelt, die zumindest im Unterlagernden gleiche Verhältnisse aufwiesen (Bsp. 22, 23, 35, 72).

Die Lagerungsklassenmodellierung wurde weitgehend regelbasiert gelöst, nachdem über regressionsanalytische Zwischenarbeiten notwendige sekundäre IL produziert worden waren. Andere IL aus dem Bereich Geologie wurden über den Weg gutachterlicher, quantitativer Wertungen erstellt. Sodann wurden Regeln des GÖS auf diese sekundären IL angewendet; es ergeben sich in der Konsequenz die Lagerungsklassen. Die Eignung der IL wird zuvor postuliert, ohne dass sie wie bei der Wasserhaushaltsmodellierung statistisch ausgewählt wurden.

Tab. 61: Modelle für Substrat, Lagerung, Geländeform, Bodenfeuchtigkeit und Nährstoffversorgung.
(Vgl. Status 9 und Karte 3b und 4b)

Abschnitt	MN	vorgeschaltete MN	Standort- kompon.	Methode	Klassen bzw. Thematik	sy.	in GFO	in SUB
7.1.1.3	1		SUBLAG	DA o. R	11U12U16 gegen 13UAndere (22-74)			
.	2		SUBLAG	DA o. R	13 gegen Andere (22-74)			
.	3		SUBLAG	DA o. R	11 gegen 12 gegen 16	ja		
7.1.2.1	4		SUB	DA	3U7 gegen Andere (Festgestein 2456)			
.	5		SUB	DA	Löß 3 gegen Kolluvium 7			
7.1.4.1.8	6		-	R	Wertung geolog. Inf. hinsichtl. UNT			
7.1.4.1.12	7		-	R	Wertung geolog. Inf. hinsichtl. DEC			
7.1.4.2.4.4	8	4	-	Regr.	Deckenmächtigkeit			Festg.
7.1.4.2.4.5	9	4 5	-	Regr.	Deckenmächtigkeit			Löß
7.1.4.2.4.6	10	4 5	-	Regr.	Deckenmächtigkeit			Koll.
7.1.5	11	4 5 6 7 8 9 10	SUBLAG	R	22 bis 74			alle
7.2.2	12	4	GFO	DA	Rücken 2627 gegen Andere			Festg.
.	13	4 12	GFO	DA	Ebene 911 gegen Andere			Festg.
.	14	4 12 13	GFO	DA	Hang 1725 gegen Andere			Festg.
.	15	4 12 13 14	GFO	DA	Tal _{schmal} 12346 gegen Tal _{grw} 578			Festg.
7.2.3	16	4 5	GFO	DA	Ebene 911 gegen Andere			Löß
.	17	4 5 16	GFO	DA	Hang 1725 gegen Andere			Löß
7.2.6	18	4 5 16 17	GFO	DA	Tal _{schmal} 12346 gegen Tal _{grw} 578			LößUKoll.
7.2.9	19	4 5 12 13 14 16 17	GFO	R	Rücken und Tal _{schmal} , Strukturdaten		Hang	Festg.ULöß
7.2.11	20	4 12 13 14	GFO	R	Steilhang 2829		Hang	Festg.
7.3.1	21	4 5 12 13 14 16 17	BFG	R	Schatt- gegen Sonnhang		Hang	Festg.ULöß
7.3.2	22	4 12 13 14	BFG	DA	13 gegen 14 gegen 17U21 gegen And.	ja	HangUEbene	Festg.
.	23	4 5 12 13 14	BFG	DA	13 gegen 14 gegen 17U21 gegen And.	ja	HangUEbene	Löß
7.3.3	24	4 5 16 17 21	BFG	DA	18 gegen 19		Schatthang	Löß
.	25	4 5 16 17 21	BFG	DA	22 gegen 23		Sonnhang	Löß
.	26	4 12 13 14 21	BFG	DA	18 gegen 19U20		Schatthang	Festg.
.	27	4 12 13 14 21	BFG	DA	22 gegen 23U24		Sonnhang	Festg.
.	28	4 12 13 14 21 26	BFG	DA	19 gegen 20		Schatthang	Festg.
.	29	4 12 13 14 21 27	BFG	DA	23 gegen 24		Sonnhang	Festg.
-	-	4 12 13	BFG	DA	9 gegen 10 gegen 11		Ebene	Festg.
7.3.5	30	4 12 13 14 15	BFG	DA	1U2 gegen 3U4U6		Tal _{schmal}	Festg.
.	31	4 12 13 14 15 30	BFG	DA	3 gegen 4U6		Tal _{schmal}	Festg.
.	32	4 12 13 14 15 30 31	BFG	DA	4 gegen 6		Tal _{schmal}	Festg.
.	33	4 5 16 17 18	BFG	DA	3 gegen 4U6		Tal _{schmal}	LößUKoll.
.	34	4 5 16 17 18 33	BFG	DA	4 gegen 6		Tal _{schmal}	LößUKoll.
7.3.6	35	4 12 13 14 15	BFG	DA	5 gegen 8		Tal _{grw}	Festg.
.	36	4 5 16 17 18	BFG	DA	5 gegen 7 gegen 8	ja	Tal _{grw}	LößUKoll.
-	-	4 12	BFG	DA o. R	26 gegen 27		Rücken	Festg.
-	-	4 20	BFG	DA o. R	28 gegen 29		Steilhang	Festg.
7.5.2	37	alle	Nähr.	R	1 bis 6		alle	alle
.	38	alle	Nähr.	DA	1 bis 6		Hang-BFG	Festg.

MN ~ Modellnummer, R ~ Regel, DA ~ Diskriminanzanalyse, Regr. ~ Regressionsanalyse, IL ~ Informationslage,
sy. ~ synchrone Modellierung, Nähr. ~ Nährstoffversorgung, Koll. ~ Kolluvium/Alluvium, Festg. ~ Festgestein. DEC ~ Decke,
UNT ~ Unterlagerndes. (Kodierung vgl. Tab. 3 und Tab. 5)

Einerseits wurde vor der eigentlichen Modellierung gezeigt, dass die Komponente Substrat bzw. Lagerung auf den Wasserhaushalt (Geländeform, Bodenfeuchtigkeit) Einfluß hat (2.3.4). Trotzdem gibt es andererseits Gründe für das Modellieren von BFG nur innerhalb der Kombination aus GFO-Klasse und Substratklasse, die rein geomorphologisch modelliert wurden und nicht innerhalb der Kombination aus GFO-Klasse und Lagerungsklasse (vgl. Schema Abb. 33):

- 1 Lagerung hängt u.a. von GK25-Information ab; diese ist nicht überall verfügbar.
Deshalb könnten BFG-Klassen nicht überall vorgeschlagen werden.
- 2 Lagerungsklassenmodellierung birgt Unsicherheit, dieses Manko sollte sich nicht fortpflanzen.
- 3 Lagerungsklassen selbst bzw. BFG-Klassen in Lagerungsklassen sind in der Datenbasis zum Teil wenig vertreten, so dass keine gute Modellierungsgrundlage bestand.

Insofern bedingt das Fehlen der dig. GK25 in manchen Bereichen des niedersächsischen Berglandes die Verzweigung des Gesamtmodells: Ein Zweig nutzt die GK25-Information und ein anderer kommt ohne sie aus. Wasserhaushaltszahlen können so überall dort ausgewiesen werden, wo nur DHM-Information vorliegt.

Ein Mangel ist, bestimmte Wasserhaushaltsklassen unberücksichtigt gelassen zu haben. In der theoretischen Erörterung (6.1.7) wurde das Fehlen von Klassen in der Datenbasis besprochen. Ersatzmodelle ähnlicher Einheiten könnten theoretisch Abhilfe schaffen, wenn die Klassen in ähnlichen Einheiten vorkommen. Beispielsweise wurden die Stauwasser-BFG-Klassen 12 und 15 aber weder innerhalb Substrat 3 noch innerhalb 2456 ausgewiesen (7.3.2). Das Fehlen von Klassen ist zugleich ein Mangel des Verfahrens und der geringen Datenbasis. Das Verfahren zerteilt die Gesamtdatenbasis standörtlich begründet (Verschachtelung) und führt so zu kleineren Datensätzen je Modellierungssituation. Wäre aber die primäre Basis umfassend und groß, würde diese Zerteilung nichts Negatives bewirken.

Drei Modelle wurden unnummeriert vermerkt, obwohl sie noch nicht aufgestellt wurden: Eines davon ist „BFG 9 gegen 10 gegen 11“ innerhalb der Ebenen innerhalb Substrat Festgestein. Es wäre zur Differenzierung des Standortes willkommen, weil es sich auf eine relativ große Fläche in einem Anwendungsgebiet beziehen könnte, denn die Geländeformklasse Ebene wird kombiniert mit der Substratsammelklasse in weniger stark zertalten Bereichen ausgedehnt vorkommen. Die beiden anderen vermerkten Modelle differenzieren Rücken nach BFG 26 und 27 bzw. Steilhänge nach BFG 28 und 29. Sie sind bei erweiterter Berglanddatenbasis vermutlich aufstellbar, haben aber geringe Flächenwirkung.

Der zumeist praktizierte und favorisierte Ansatz ist, die Trennung jeweils zweier Klassen anhand gleicher Klassengröße im Modellierungsdatensatz durchzuführen. Der Datensatz für solch ein Teilmodell wird aus zufällig gewählten Zellen des gesamten Berglandfundus aufgebaut. Ist eine Klasse in bestimmten Teilräumen des Berglandes häufig, gehen Zellen dieser Teilräume stark in die Modellbasis ein, weil die Prämisse definiert wurde, alle Kartierungen des Berglandes seien gleichermassen geeignet (6.1.1). Dies führt zu einem gewissen Ungleichgewicht in der Datenverteilung, denn es sind nicht alle Lagekonstellationen einer Standortklasse innerhalb des Berglandes gleichmäßig vertreten. Trotzdem wurden die zur Trennung zweier Klassen „allgemein“ geeigneten Variablen jeweils auf diese Weise ausgewählt. Diesem Mangel kann nur durch eine über das Bergland verteilten Erweiterung der Datenbasis abgeholfen werden. Eine zumeist notwendige Modellspezifizierung wird mit *a-priori*-Annahmen erreicht.

Eine automatisierte, statistische Variablenwahl führt nicht unbedingt zu befriedigenden Ergebnissen, vor allem dann, wenn eine schwierige Klassentrennung zu leisten ist. Ständige Überwachung und anwenderbasierte Lenkung ist angebracht. So wurde z.B. in Modell MN 18 bei der Trennung von Tal-GFO-Klassen eine wenig beitragende Variable verbannt, obwohl sie zuerst gewählt wurde. Dadurch kann die Klassenkonstellation überzeugender gestaltet werden.

Es wurde propagiert, dass ein Modellanwender durch erste Geländeuntersuchungen und Betrachtung der Reliefinformation abschätzen kann, ob eine bestimmte Zielklasse im Gebiet vorkommt und in welcher ungefähren Ausdehnung dies der Fall sein wird (7.6). Demnach könnten bestimmte Teilmodelle, die nur diese eine Zielklasse hervorbringen, übersprungen bzw. mit *a-priori*-Werten die Ausdehnung gesteuert werden. Dieses Vorgehen ist aber nicht zwingend notwendig. Jedes Teilmodell kann natürlich *ohne* Vorkenntnis mit Standardeinstellungen zur Klassengröße benutzt werden und der Anwender kann auf das Zwischenergebnis reagieren, indem er entscheidet, entweder die Zielklasse wegen Unplausibilität zu überspringen oder ihre Ausdehnung zu regulieren. Je kleiner ein Gebiet ist, desto eher wird ein Teilmodell zu überspringen sein oder die Ausdehnung spezifisch zu regulieren sein.

Einige Überlegungen und Versuche führten dazu, meistens (Wasserhaushalts-)Klassen schrittweise voneinander zu trennen (6.1.5), d.h. die Klassen einer Aggregationsstufe wurden nicht synchron in einem Schritt modelliert. Die in 6.1.5 genannten Vorteile und Gründe wurden weitestgehend bestätigt, indem teilweise einige synchron arbeitende Teilmodelle ausgeführt wurden. Die Modellierungsergebnisse sprechen für ein schrittweises Verfahren, wobei durch höhere Modellzahl aber auch Nachteile entstehen. Tab. 61 zeigt aber auch einige wenige synchron arbeitende Modelle; sie wurden aufgestellt, weil standörtliche oder datenbasisabhängige Faktoren dafür sprachen.

Standörtliche Betrachtung

Die Modelle der Tab. 61 bringen die Klassifikationen der Karten 3b und 4b hervor. Gegenüberstellungen von Modell und Referenzkartierung finden sich in Tab. 43, Tab. 44 und Tab. 57 und wurden dort diskutiert. Diese Karten bzw. Gegenüberstellungen zeigen die standörtliche Qualität der Modelle. Methodisch bedingt können nachgeschaltete Modellergebnisse aber nicht streng numerisch mit Kartierungsreferenzen verglichen werden, wie in 7.2.8 erläutert wurde. Trotzdem wurde dies für BFG-Klassen in Tab. 57 getan, um Übereinstimmungen und Diskrepanzen objektiv darzustellen. Ansonsten sind die modellierten Klassen visuell und somit auch subjektiv zu werten. Im allgemeinen sind die Ergebnisse demnach akzeptabel. Mängel werden aber sichtbar.

Einer der offensichtlichen Mängel des Verfahrens ist die durch die verschachtelte Vorgehensweise z.T. unnatürlich wirkende Klassennachbarschaft, vor allem in Talquerschnitten. Dieses Phänomen kommt stärker zum Ausdruck, je mehr Klassen auf verschiedenen Aggregationsstufen vorgeschaltet sind (7.3.5 und 7.3.6, Abb. 61): BFG wurde innerhalb GFO modelliert, GFO wiederum innerhalb Substrat. An den zuvor produzierten Klassengrenzen wechseln schließlich die zuletzt hergeleiteten Klassen in unüblicher Weise. Dieses hier als Mangel dargestellte Phänomen ist aber nur die logische Konsequenz der Verschachtelung und des Nebeneinanders von Modellen. In der einzelnen Modellierungssituation wird jeweils plausibel gehandelt. Wahrscheinlich hängt die Diskrepanz von Modell und Referenzkarte aber auch mit der manuellen, kartographischen Generalisierung des Kartierers zusammen, der Klassenabfolgen

im Raum vereinfacht. Er bildet „Einheiten“, das GIS bzw. die statistischen Verfahren klassifizieren aber einzelne Zellen. Das Problem liegt in der grundsätzlichen Unterschiedlichkeit der Betrachtung des in Zellen geteilten Raumes: Statistische Verfahren sehen die Zelle nur als separate Zelle und nicht als Bestandteil einer ausgedehnten Einheit: Ein Kartierer sieht z.B. „das Tal“ in seiner gesamten Ausformung, während die Statistik die Talzelle ungewertet als Kategorie auffasst, wobei deren umgebende Zellen unbeachtet bleiben. So werden Talzellen innerhalb eines Talquerschnittes bei der DA zu verschiedenen Klassen zugeordnet, der Kartierer hingegen vergibt nur eine Talklasse.

Der zweite offensichtliche Mangel des Verfahrens ist die wenig erfolgreiche Modellierung der Stauwassermerkmale i.w.S., die im Zusammenhang mit Tab. 57 und aus der Sicht derjenigen Variablen, die Ableitungen aus GK25-Informationen sind, besprochen wurde bzw. wird (Abschnitt 8.2).

Technische Umsetzung

Die technische Umsetzung des gesamten Verfahrens ist ebenfalls zu diskutieren. Viel Raum nimmt die Vorstellung der Testmodellierungsschritte zur Herleitung von endgültigen Modellierungsreihenfolgen und auch die Vorstellung der verworfenen Modellalternativen ein. Das kategorische oder ordinale Datenmaterial mußte aber jeweils unter Berücksichtigung der Definitionen im GÖS, Vorkommen theoretisch möglicher Werte im Modellierungsdatensatz und Zielansprüchen spezifisch gruppiert oder reduziert werden. Dabei wurden viele Ansätze, die zuerst durchführbar erschienen, verworfen. Dies alles suggeriert eine unüberschaubare Modellvielfalt. Die tatsächlich notwendigen Modellschritte, also die Teilmodelle, sind aber viel weniger zahlreich (Tab. 61). Es gibt allerdings auf jeder Aggregationsstufe einer Wasserhaushaltskomponente nahezu so viele Modelle wie Zielklassen.

Es besteht ein zweiter technisch orientierter Aspekt: Zu Anfang einer Modellübertragung können nicht alle benötigten Variablenwerte in einer umfassenden Datei abgelegt werden, weil sich jeweils vorgeschaltete Klassenwerte (bestimmte Substratwerte, bestimmte GFO-Werte), innerhalb derer weitermodelliert wird, erst im Lauf der Gesamtmodellierung ergeben. Sie müssen für den jeweils nächsten Schritt in die Datei zur Definition des sog. „Restraumes“, in dem weitermodelliert wird, eingesetzt werden. Schritt für Schritt können immer nur die Zellen, für die bereits eine Lagerungsklasse oder eine BFG-Klasse modelliert wurde, aus der Anfangsdatei entlassen werden (vgl. Tab. 61). Dies erschwert die Modellübertragung technisch.

Zur Zeit sind die Modelle also noch nicht in dem Sinn aufeinander abgestimmt, dass nur das Anwendungsgebiet digital definiert werden müßte und dann sehr bald das Ergebnis bereit stehen würde. Eine vollständige Automatisierung ist auch nicht möglich, da im Modellverlauf immer wieder mit einem gewissen Grad von Sachverstand Zielklassen erlaubt bzw. ihre Ausdehnung gesteuert werden müssen. Im Sinn einer Rationalisierung wäre als nächstes ein Anwendungstest mit einem dem Validierungsgebiet entsprechenden Gebiet ohne die Aufstellung von veränderten oder neuen Modellen angebracht. Bei Erfolg wäre Wirtschaftlichkeit bei der Kartierung nach heutigem Verfahren gegeben, zumal das Modellergebnis in allen Phasen der Kartierung, also auch am Ende beim Zeichnen der Karten, verwendet werden kann.

Abkehr von der statistischen Modellierung kategorieller Daten ?

Das Modellieren im Bereich Wasserhaushalt auf Klassenbasis ist nicht leicht zu handhaben. Durch das verschachtelte Vorgehen von größeren zu kleineren Einheiten und das verzweigte Vorgehen je Standortkomponente bedingen sich Modelle zudem. Dies kann man als hinderlich bezeichnen. Wie könnte eine Alternative aber aussehen? Wenn alle vermeintlich notwendigen, standörtlichen Eigenschaften einer Örtlichkeit bzw. der Zellen in Form von numerischen, stetigen Variablen bekannt wären, könnte der Eindruck entstehen, man wäre dem Ziel einer Standortausweisung näher. Es darf nicht vergessen werden, dass letztendlich Klassen verlangt sind, denn sie werden in Karten abgebildet. Klassen integrieren viele Informationen. Welche Informationen dies jeweils sind, muss erst entschieden werden. Besonders ist aber zu berücksichtigen, dass mit einer hohen verlangten Klassenanzahl auch eine hohe Anzahl von notwendigen Schwellenwerten einhergeht. Schwellenwerte gutachterlich-regelhaft festzulegen, wenn nur eine Information klassenbildend ist, ist relativ einfach und dies wurde auch in dieser Arbeit für manche Wasserhaushaltsklassen ausgeführt (7.2.11). Wenn aber mehrere Kriterien kombiniert werden müssen liegen Entscheidungen nicht mehr klar auf der Hand. Sobald deshalb nicht gutachterlich-regelhaft mit den wie auch immer hergeleiteten Standorteigenschaften verfahren werden soll, sondern statistisch, tritt in Zuge der Diskriminanzanalyse das Problem der „spröden“, schwer zu verarbeitenden Klassen auf. Wie man das Problem auch angeht, die Vielzahl der Einflußgrößen und die Vielzahl der verlangten Klassen bedingen immer ein aufwändiges System.

8.2 Informationslagen

Eine anfangs in Hinblick auf rationelle Nutzung der Modelle gestellte Frage ist die nach der Eignung einzelner Variablen oder Variablengruppen. Je weniger Variablen überhaupt verwendet werden, desto weniger arbeitsaufwändig ist das Gesamtverfahren. Auch ist zu besprechen, welche Variablen zu einer plausibelen Ausgestaltung des Raumes führen und nicht nur, ob Variablen in statistischen Verfahren als geeignet erkannt werden.

Tab. 62 stellt die Verwendung der Informationslagen bzw. Variablen in den Modellen (Zahlen in Tabelle) je Standortkomponente zusammen. Auch einige wenige berglandfremde, aus Harzdaten aufgebaute Modelle sind einbezogen. Die Anzahl der Eintragungen gibt in etwa die Bedeutsamkeit der Variablen wieder. Die Variablenwahl tendiert allerdings etwas zugunsten einiger bestimmter Variablen, weil z.B. für die Herleitung der Deckenmächtigkeit keine statistische, sondern gutacherliche Variablenwahl getroffen wurde. Welche Variablen kristallisierten sich als geeignet oder ungeeignet heraus? Die Ziffern 0 und 1 in Tabelle und Text zeigen, ob eine Variable in Zukunft bei Neuaufstellung der Modelle zur Verwendung bereitgestellt werden sollte.

Die linke Spalte zeigt Abschnitte der Kapitel 5 und 7, in denen die Variablen genauer vorgestellt wurden.

Tab. 62: Verwendung der Informationslagen in den Modellen
für Substrat, Lagerung, Geländeform, Bodenfeuchtigkeit und Nährstoffversorgung (vgl. Tab. 61).

Abschnitt	IL	SUB	SUBLAG	GFO	BFG	Nähr.	V.
5.2.3.1	HOE						0
5.2.3.1	SLOF		9 10	14 20	27 29 30 36	38	1
5.2.3.1	ASP				21		1
5.2.3.1	ASPWEST		9				1
5.2.3.2			PLAF				0
5.2.3.2			PROF	9			0
5.2.3.2			CURF				0
5.2.3.3			MB				0
5.2.3.4	EZGFW						0
5.2.3.4	EZGFL			15 (18)			0
5.2.3.4	EZGFFF		1	15 18	36		0
5.2.3.4	EZGFFFW		1 3		31 33 34		0
5.2.3.4	EZGFFFL	4	1				0
5.2.3.5			EXPNAH		28		1
5.2.3.5			EXPNAHMIN	8			1
5.2.3.5			HOEDIF				0
5.2.3.5			EXPMAXMINPRO		12 18		1
5.2.3.5			EXPSUMNAH		12 14 17	25 32	1
5.2.3.6	EUCKUPW				23 35	38	1
5.2.3.6	EUCTIEW	5	3 9	16	32 35 36		1
5.2.3.6	EUCHANG	4		13 16	33	38	1
5.2.3.7			PATLENF		12 18	27	0
5.2.3.7			PATLENFW		12		0
5.2.3.8			PATHOE				0
5.2.3.8			PATHOELENQUO		17	22 34 35	0
5.2.3.9			HOEDIFTIE		14	23 31	1
5.2.3.10	FLI			13 16	28		1
5.2.3.10	FLI-I		3	15	23 26 27 33		1
5.2.3.10	FLI-L	5		16	35	38	1
5.2.3.10	FLI-IL	5	2 3 8	18	25 36		1
5.2.3.11		4	SLODIS17		12 16	22 23 28	38 1 ?
5.2.3.11			SLODIS17-4	8			0
5.2.3.11			SLODIS17 klassiert				0
5.2.3.11		5	SLODIS9		13 15 17	23 24 25 26 34	1 ?
5.2.3.12	CTIF						0
5.2.3.12	CTIF klassiert						0
5.2.3.12	TWIF				22 29		0
5.2.4.1			EXP2	1	14	22 23 26 27 29 30 35 36	1
5.2.4.1			EXP8	10	18		1
5.2.4.1			EXP210	8 9	13 16	24 25	1
5.2.4.2	WINDEXP						0
5.2.4.3	EINSTR				24 26 28		1
5.2.4.3	EINSTRMOD		3				1
5.2.4.3	EINSTRMODBES				(21, statt ASP)		1
7.2.9	STRUKTURINFORMATION			19			1
7.1.1.2.1	SUB-1-ANTF		1				1
7.1.1.2.1	SUB-1-ANTFL		2				1
7.1.4.1.12			DEC-K-INT	mehrmals in 11			m
7.1.4.1.12			DEC-R-INT	mehrmals in 11			m
7.1.4.1.12			DEC-T-INT	mehrmals in 11			m
7.1.4.1.12			DEC-S-INT	mehrmals in 11			m
7.1.4.1.8	UNT-T-INT			Test bei 22, 23			m
7.1.4.1.8	UNT-S-INT			Test bei 22, 23			m
7.1.4.1.8	UNT-GK			mehrmals in 11			1

Zahl ~ Modellnummer MN im Text,

V. ~ künftige Verwendung: m ~ modifizieren, 1 ~ ja, 0 ~ nein, ? ~ unklar.

Variablengruppe Höhe, Neigung, Neigungsrichtung (5.2.3.1):

Die Variable HOE stellt eine Ausnahme im Gesamtmodell dar. Sie wurde oftmals nicht zur Auswahl bereitgestellt, weil ihre absoluten Werte einen anderen Charakter haben als die Werte der anderen Variablen. Die Absolutwerte in der Datenbasis hängen von den einbezogenen kartierten Flächen ab und auch ein Zielgebiet wird spezifische absolute Werte aufweisen. Höhe 250 m kann in einem Teilraum relativ hoch sein, in einem anderen Raum niedrig. Dagegen sind z.B. Hanglängenwerte im gesamten

Bergland gleich zu interpretieren. Durch das Herauslassen von HOE z.B. in Modell MN 15 „Tal_{schmal} gegen Tal_{grw} in Substrat Festgestein“ wurde einer Fehlauswahl vorgebeugt. Auch wäre ein anhand des Harzes aufgestelltes Modell (Substrat 1, 7.1.1) für das Bergland neu aufzustellen, wenn HOE vorkommen würde. Davon abgesehen wurde HOE in keinem Fall in die endgültigen Modelle einbezogen.

Die Neigung SLOF wurde einige Male verwendet. Ein sinnvoller Einbau bei der Ausweisung der GFO-Klassen Hang und Steilhang in Substrat 2456 (MN 14 und 20) war abzusehen. Interessanterweise wird die Neigung aber nicht verwendet, um in MN 13 und MN 16 die Ebene von Anderen zu trennen. In MN 13 erfüllt SLODIS9 ähnliche Funktionen, denn die Distanzen zu Bereichen geringer Neigung (<9 %) sind dort gering, wo die Neigung gering ist. In MN 16 liegen Lößbereiche zugrunde, die i.d.R. selbst bereits flach sind und insofern eine Neigungsvariable nicht mehr sonderlich zur Differenzierung beitragen kann. Variablen tragen nicht immer die Funktionen, die ihnen vordergründig betrachtet zugeordnet werden bzw. ihre Funktion wird durch andere Variablen abgedeckt. Dies gilt umso mehr, als dass die Standortklassen komplexere Gebilde sind, die sich besser durch mehrere Variablen ausweisen lassen. Neigung wird weiter in den Modellen MN 27, 29, 30 und 36 benutzt: Je steiler der Hang, desto eher resultiert die trockenere Sonnhang-BFG-Klasse (MN 27, 29), was plausibel erscheint. Auch ist der Einsatz zur Ausweisung von schluchtartigen Tälern (MN 30) zu akzeptieren. Verwunderlich ist die Verwendung von Neigung bei der Dreiteilung der grundwasserbeeinflussten Täler innerhalb Löß und Kolluvium (MN 36): Die Klassifikationskoeffizienten zeigen eine Förderung der BFG-Klasse 7 (mittlere Grundwasserstände) bei größerer Neigung an, eine Förderung von BFG 5 und 8 gleichermaßen bei geringen Neigungen; dies ist nicht sinnvoll. Bei MN 36 wurde schon auf die problematische Datenbasis hingewiesen. Es handelt sich um ein zu verbesserndes Modell.

Die beiden Expositionsvariablen ASP und ASPWEST wurden nur selten in die Modelle bzw. in die Variablenauswahl eingebracht, weil zum einen ASP keine numerischen Variable wie die anderen geomorphologischen Variablen darstellt, denn nahezu gleiche standörtliche Bedeutung drückt sich z.B. bei Nordexposition in sehr unterschiedlichen Werten aus. ASPWEST, die Abweichung von Westexposition, könnte dann zu unplausiblen Modellen führen, wenn in der Datenbasis z.B. zufällig Täler, deren Existenz nichts mit Exposition zu tun haben kann, überproportional in bestimmten Richtungen verlaufen. Somit wurden die beiden Variablen selten berücksichtigt.

Bei einem einfachen Vorgang, der Trennung von Schatt- und Sonnhang, kommt ASP (statt EINSTROMBES) zum Einsatz. Bei Modell MN 9, der Deckenmächtigkeit innerhalb Substrat 3, wird ASPWEST verwendet, weil Angaben in der Literatur die Wirkung dieser Größe propagierten. Die in 2.3.2.1 propagierte Wirkung von ASPWEST wurde zwar in einem verworfenen Modell gefunden, so bei der Trennung von Substrat 3u7 gegen Andere bei der Modellierung innerhalb von Clusterbereichen, aber in keinem der letztendlich akzeptierten Modelle. (0, 1, 1, 1).

Variablengruppe Wölbung / Massenbilanzindex (5.2.3.2 und 5.2.3.3):

Nur einmal wird eine Variable der Wölbung einbezogen (PROF) und zwar in einem Modell MN 9, was gutachterlich aufgestellt worden ist. Hier dient sie der Verminderung/Vergrößerung der Deckenmächtigkeit bei konvexer/konkaver Profilwölbung. Ansonsten werden derartige Variablen nicht verwendet. Wie in Abb. 13 zu sehen, wechseln die Werte der Wölbungsvariablen (PLAF, PROF, CURF) kleinräumig: Auch bei einem gestreckt wirkenden Hang wechselt die Wölbungstendenz mehrmals, es ergibt sich ein unruhiges Bild. Dies hängt damit zusammen, dass die Wölbungswerte nur aus wenigen

Nachbarzellen von Z0 berechnet werden: Primär werden 9 Zellen einbezogen, durch Glättung 25. Dies ist weniger als bei den verwandten IL der Exponiertheit der näheren Umgebung. Dort ist der Betrachtungsradius bis zu 100 m (10 Zellen) groß. Die Wölbungsvariablenwerte wechseln innerhalb standörtlicher Einheiten, also z.B. der zu modellierenden Wasserhaushaltsklassen zu sehr, so dass ihre Variation nicht zur Trennung zwischen den Klassen beitragen kann. Allerdings wird PLAF zur Herleitung des „Oben“, des oberen Abschlusses eines Hanges, verwendet und somit indirekt auch für bestimmte Variablen wie die der euklidischen Distanzen herangezogen. Der Massenbilanzindex MB fand überraschenderweise keine Verwendung, obwohl er durch die Integration der Wölbungsvariablen mehr Information trägt. (0, 0, 0, 0)

Variablengruppe der „Einzugsgebietsgröße“ (5.2.3.4):

Ein generelles Statement, nämlich dass EZG-Variablen oftmals von statistischen Auswahlverfahren als bedeutsam erkannt werden, kann hier einleitend gegeben werden. Diese Variablen bergen aber einiges Positive und Negative, was gegeneinander abgewogen werden muss:

Mancherorts tritt z.B. die GFO-Klasse Tal_{schmal} nicht linienhaft sondern fleckenhaft auf (Abb. 56). Diese bei erster Betrachtung unpassend erscheinende Lage könnte vermieden werden, wenn bei der Ausweisung dieser Klasse verstärkt Einzugsgebietsvariablen benutzt würden. Sie schlagen sich immer linienhaft nieder. Dies hätte aber den Nachteil, dass die wenig natürliche Werteverteilung der Einzugsgebietsvariablen, nämlich der schroffe Wechsel von hohen Werten am Talrand zu sehr niedrigen Werten am Hang- stark steuernd wäre. Außerdem widerspricht eine solche subjektive Lenkung des Modellergebnisses dem Ansatz, die beteiligten Variablen objektiv durch statistische Verfahren zu selektieren und danach zu akzeptieren. Eine starke subjektive Beeinflussung sollte vermieden werden. Im übrigen sind die genannten Tal-Standorte durch den Modellanwender auch in dem Sinn interpretierbar, dass dort eventuell nur „frischere“ Hangklassen statt Talklassen vorliegen müssten.

Generell ist aber zu hinterfragen, ob die EZG-Variablen aus dem genannten Grund überhaupt benutzt werden sollten. Im Vorgriff wird schon hier propagiert, EZG-Variablen nicht mehr direkt zur Standortklassenausweisung zu nutzen, obwohl sie des öfteren in statistischen Selektionsschritten beachtet wurden. Stattdessen sollten Variablen einspringen, die linienhafte Strukturen in moderaterer Form abbilden, wie z.B. die Informationslage EXPSUMNAH (5.2.3.5 und Karte 1b im Anhang). Somit würden EZG-Variablen nur noch in den Arbeitsbereich gedrängt, in dem sie als notwendige Variablen dienen, um andere Variablen zu definieren. Ein Beispiel ist die Ausweisung von Tiefenlinien und anschließende Berechnung der Variablen EUCTIEW, der euklidischen Distanz zur Tiefenlinie (5.2.3.6). (0, 0, 0, 0, 0).

Variablengruppe „Exponiertheit der näheren Umgebung“ (5.2.3.5):

Vier Variablen werden produziert. EXPSUMNAH wird häufig in die Modelle eingesetzt, HOEDIF nicht. Die beiden anderen werden selten verwendet. EXPNAH bzw. die Ableitung EXPNAHMIN sind dabei gutachterlich gewählt worden, nicht objektiv statistisch. Insofern könnten sie eventuell auch durch EXPSUMNAH ersetzt werden.

Dieser Variablengruppe wird hohe Eignung zugesprochen, weil sie im Kartenbild, also in der Konstellation von modellierten Standortklassen, zu „natürlich“ wirkenden Formen beiträgt. Testläufe ergaben auch die Eignung der weniger vertretenen Variablen, wenn EXPSUMNAH nicht vorgegeben wurde. Warum scheint aber HOEDIF kaum geeignet zu sein? Diese IL bildet nur die Höhendifferenz zwischen Z0 und den gemittelten Zellenwerten in einem Umkreis ab, ohne lokale Minima und Maxima zu berücksichtigen; dies aber ist bei den anderen drei IL gewährleistet, was offensichtlich relevant ist.

Karte 1b zeigt die IL EXPSUMNAH, die zur Einschätzung der Reliefposition eines Ortes in einem Umkreis von etwa 100 m Kartierern bereitgestellt werden kann und stellt somit eine kleinere Dimension als die Karten 1a und 1c dar. (1, 1, 0, 1, 1).

Variablengruppe Euklidische Distanzen (5.2.3.6):

Die absolute euklidische Distanz zu Tiefenlinie EUCTIEW fällt durch ihre siebenmalige Verwendung auf. Sie ist eine äußerst „robuste“ IL, die zwar einerseits dazu geeignet ist, eine größere Fläche von beispielsweise 1x1 km zu differenzieren, aber andererseits innerhalb dieser Differenzierung nicht sprunghaft ist. Allerdings hängt sie von einer adäquaten Herleitung der Bezugstiefenlinie ab; sie wurde recht einfach durch die Einzugsgebietsgröße mit der Schwelle 1800 Zellen festgelegt. Offensichtlich führt dies zu einem verwendbaren Wertespektrum in EUCTIEW.

EUCKUPW war aufwändiger herzuleiten, beispielsweise mit einem inversen DHM und Exponiertheitsvariablen. Die Kuppen (Kämme, Kulminationslinien) sind trotzdem nicht überall sinnvoll im Gelände positioniert, was z.B. zu deutlich unterschiedlichen Werten auf einem horizontal gestreckten Hang führen kann. Ob dieser Mangel oder das Fehlen einer standörtlichen Bedeutung zur nur dreimaligen Verwendung in Wasserhaushaltsmodellen führt, bleibt unklar.

EUCHANG wird bei der Trennung der Ebenen von anderen GFO-Klassen (excl. Rücken) sowohl in Substrat 2456 als auch in Substrat 3 benutzt (MN 13, MN 16). Laut beiden Modellen sind die Ebenen tendenziell auf Zellen zu finden, die den Oberhang bilden. In MN 4 trennt EUCHANG Festgesteinsbereiche von den Substraten 3 und 7, wobei letztere in relativ unterer Hangposition auftreten. Später in MN 33 trennt die Informationslage BFG-Tal-Klassen. Insgesamt handelt es sich um eine oftmals einsetzbare, robuste IL, die auch in nicht weiter vorgestellten Tests zu akzeptablen Ergebnissen führte. (1, 1, 1).

Variablengruppe Hanglänge, Hanghöhe (5.2.3.7, 5.2.3.8) und Höhendifferenz zur Tiefenlinie (5.2.3.9):

Variablen, die auf Pfadverläufen basieren (PAT...), werden zwar des öfteren eingesetzt, führen aber zu einer teilweise unnatürlichen Klassenausformung. Dies gilt vor allem dann, wenn nur wenige Variablen das Modell aufbauen. Denn immer, wenn wenige Variablen eingesetzt sind, bildet sich das Wertespektrum einer einzelnen Variablen in der Klassenausformung besonders ab. Die bemängelte unnatürliche Klassenausformung ist dadurch begründet, dass die Variablenwerte an einem relativ gestreckten, gleichförmigen Hang stark wechseln können (Abb. 19). Dies wiederum hängt mit der strengen Pfadfestlegung von einer Zelle Z0 zu einer Zielzelle zusammen. Derartige Zielzellen liegen zwar auch bei den euklidischen Distanzen, besonders bei EUCKUPW, zugrunde, aber dort sind die Ergebnisse wesentlich moderater, weil keine strenge Bindung an einen durch das DHM festgelegten Pfad gegeben ist. Bei erneuter Modellaufstellung sollte deshalb von der Verwendung dieser Variablen Abstand genommen werden (vgl. Variablen der Einzugsgebietsgröße).

Die Höhendifferenz zur Tiefenlinie HOEDIFTIE ist eine verwendbare Information, da sie den Raum in einem standörtlich bedeutsamen Bereich sinnvoll und ohne unnatürliche Wertesprünge differenziert. Dies ist vor allem durch die Ausweisung der Tiefenlinie, die relativ leicht festzulegen ist, bedingt und auch dadurch, dass keine Pfadverläufe herangezogen werden. (0, 0, 0, 0, 1).

Variablengruppe Form-Lage-Indizes (5.2.3.10):

Die vier Variablen dieser Gruppe zählen zu den am häufigsten verwendeten, denn sie wurden, genau wie die Exponiertheitsvariablen der weiteren Umgebung, achtzehnmal benutzt. Beispielsweise wird FLI-I oft herangezogen, aber auch FLI-IL, der logarithmierte Form-Lage-Index, trägt oftmals zur Klassentrennung bei (vgl. Karte 1c). Beide beruhen auf einem inversen DHM. Ähnlich wie PATLENF und PATLENFW in MN 12 können die beiden Form-Lage-Indizes zusammen in einem Modell auftreten (MN 5). Variablen tragen durchaus eine unterschiedliche Information, obwohl sie voneinander abhängen.

Die Form-Lage-Indizes sind schwer zu umschreiben oder zu interpretieren; das gilt besonders für den favorisierten Index FLI-IL, da er auf einem inversen DHM beruht und als letzter Schritt der Berechnung durch Logarithmieren entstanden ist. In Abb. 20 und vor allem in Karte 1c wird jedenfalls die starke Strukturierung des Geländes durch diesen Index deutlich. Durch den in 5.2.3.10 beschriebenen Einsatz von stufig veränderten Beleuchtungswinkeln bei der Herleitung ergibt sich nahezu einer flächige Mosaikierung des Reliefs, ohne dass unruhige oder unnatürlich wirkende Wertesprünge entstanden sind. Der Einsatz dieser Variablen führte auch nicht zu standörtlich unpassend wirkenden Klassenausformungen. Anscheinend stellen diese IL einen guten Kompromiß der Beschreibung der Lage einer Zelle in engerer und weiterer Betrachtungsdimension dar. (1, 1, 1, 1).

Variablengruppe Distanz zu starker oder schwacher Neigung (5.2.3.11):

Beide Variablen werden oft in Modellen verwendet. Zu ihrer Erstellung mußten Schwellen angesetzt werden, die starke oder schwache Neigung definieren. In Orientierung an die Literatur wurden 9 % und 17 % verwendet. Zu diesen Bereichen wird ausgehend von Z0 die kürzeste Distanz gemessen. Dies führt zu einem mancherorts fleckenhaften oder konzentrischen Muster großer und kleiner Werte dieser beiden Variablen (Abb. 21), denn die beiden Schwellen 9 und 17 % rangieren im Bereich berglandtypischer Neigungswerte: Z.B. im Validierungsgebiet beträgt die Neigung etwa 12 %. Das fleckenhafte Muster wirkt bei Klassenmodellierung negativ, da es zu standörtlich untypischen Ausformungen führt. Es läßt sich aber nicht von der Hand weisen, dass die beiden Variablen oft verwendet werden; sie zeigen also trotz des Wertemusters einem Zusammenhang zu den Standortklassen. Sie werden oft herangezogen, weil sie es trotz ihrer Mängel leisten, flache ausgedehnte, wenig zertalte Bereiche und deutlich geneigte ausgedehnte Bereiche zu beschreiben. Dies ist eine Mehrinformation gegenüber der Neigung (SLOF).

Zwei Sondervariablen gehören in diesen Komplex: SLODIS17-4 und SLODIS17, klassiert. Die erste wurde bei MN 8 verwendet. Dort wurde bereits auf die anzunehmende Bedeutungslosigkeit von sehr großen Werten der Variable SLODIS17 verwiesen und deshalb eine 400 m - Höchstgrenze angesetzt. Die zweite wurde nur aus statistischen Gründen erzeugt, aber nicht endgültig verwendet und kann somit entfallen.

Dieses Für und Wider leitet dazu über, das Problem folgendermassen zu lösen. Es können zwei IL produziert werden, die allen Anforderungen gerecht werden: Distanzen zu starker bzw. schwacher Neigung aufzuzeigen und dabei kein fleckenhaftes Bild abzugeben. Dies könnte durch ein Heruntersetzen der einen Schwelle von 9 auf 5 % und ein Hochsetzen der anderen Schwelle von 17 auf 25 % geschehen. Auch kann dabei eine Kappung der höchsten Werte beider IL bei 400 m durchgeführt werden, um das Wertespektrum enger zu gestalten. Damit wäre auch die IL SLODIS17-4 eliminiert. Die Verwendung der abgewandelten IL bei erneuter Modellaufstellung ist noch unklar, aber wahrscheinlich. (1 ?, 0, 0, 1 ?).

Variablengruppe *topographic wetness index* und *topographic index* (5.2.3.12):

Beide IL führen wie auch die aus der Gruppe der EZG-Variablen zur Ausbildung von linienhaften Strukturen bzw. Klassen und sind daher weniger gut zu verwenden. Auch spricht ihre seltene Einbeziehung gegen eine weitere Verwendung. Somit ist auch CTIF „klassiert“ hinfällig. (0, 0, 0).

Variablengruppe Exponiertheit der weiteren Umgebung (5.2.4.1):

Die Exponiertheit der weiteren Umgebung kommt in Form von EXP2 und EXP210 häufiger als in Form von EXP8 zum Einsatz. Dies ist damit zu erklären, dass vor allem EXP210 aber auch EXP2 stärker im Raum variieren: EXP8 zeigt für ausgedehnte Bereiche mit mittlerer Hangneigung wenig Variation. Sie fehlt zur Strukturierung in Standortklassen.

Zwar wird EXP2 in mehr Modelle als EXP210 integriert, aber bei EXP210 wird die Bedeutung in der ganzen breite der Modellierung deutlich: Auch bei Lagerungsmodellen und GFO-Modellen wird sie je zweimal einbezogen, nicht überwiegend bei BFG-Modellen. Sie hinterließ im übrigen im Verlauf des gesamten Modellaufbaus den Eindruck einer robusten, bedeutsamen IL und wird deshalb als Kartierungshilfsmittel vorgeschlagen (vgl. Karte 1a). Wie auch die Form-Lage-Indizes strukturieren und differenzieren die Exponiertheitsvariablen den Raum deutlich und berücksichtigen horizontale und vertikale Konstellationen ohne dabei sprunghafte oder unnatürlich wirkende Werteverteilungen zu zeigen. Insofern sind auch modellierte Standortmuster unter Verwendung dieser Variablen ähnlich den konventionellen, kartierten Standortmustern. (1, 1, 1).

Variablengruppe Windexponiertheit und Einstrahlung (5.2.4.2 und 5.2.4.3):

Windexponiertheit WINDEXP wird nicht verwendet. Dies ist einerseits bedauerlich, weil die Herleitung recht aufwändig war. Andererseits ist das Ergebnis in dem Sinn positiv, dass WINDEXP bei Modellanwendung nicht mehr produziert werden muß und damit Aufwand entfällt. Sicher hat die Einbeziehung von Exponiertheitsvariablen und Form-Lage-Indizes zur Verdrängung von WINDEXP beigetragen. Dies wurde in zwischengeschalteten Tests bestätigt, wenn die genannten Variablengruppen nicht zur Verwendung bereitgestellt wurden: Dann wurde WINDEXP z.T. integriert. Somit bleibt festzuhalten, dass die Windrichtungs- und Kuppenkomponenten von WINDEXP gegenüber geomorphologischen Variablen entgegen der These in 2.3.2.1 wenig zur Klassenausweisung beitragen.

Drei Einstrahlungsvariablen wurden produziert. Auffällig ist ihre seltene Verwendung. Es war anzunehmen, dass eine der Variablen relativ gut zur Trennung der beiden Hangbereiche (MN 21) geeignet sein würde; dies wurde mit EINSTRMODBES bestätigt. Allerdings wird weiter ASP bei diesem einfachen, gesonderten Modell verwendet (7.3.1).

Ist ihre Verwendung in den Modellen, zu denen sie beitragen, plausibel? In MN 3 wird EINSTRMOD zur Differenzierung dreier Lagerungsklassen (11, 12, 16) innerhalb Substrat 1 verwendet. Zumindest agiert sie dort sinnvoll, weil Lagerung 11 und 12, die beiden Klassen mit geringster Decke, tendenziell bei höherer Einstrahlung vorliegen. Dies ist insofern akzeptabel, als dass höhere Einstrahlung in relativ erhöhten Positionen vorkommt und damit auch etwas ausgedrückt wird, was nicht unbedingt mit der Einstrahlung selbst zu tun hat. Außerdem kann interpretiert werden, dass höhere Einstrahlung eher zu Bodenfließen und in exponierten Lagen dadurch zur Abfuhr des Lockermaterials beitrug. MN 1 – MN 3 sind allerdings Harzmodelle, die als Ersatz für Berglandmodelle fungieren und wegen schwächerer Datenbasis mit Vorsicht zu akzeptieren sind.

Die drei Modelle MN 24, MN 26 und MN 28 waren bereits genauer diskutiert worden (7.3.3), in ihnen wird EINSTR herangezogen. Es handelt sich um drei BFG-Modelle der GFO-Teilkategorie Schatthang. Die Variable agiert anders als erwartet, weil danach größere Bodenfrische bei größerer Einstrahlung auftritt; hier muß die Interpretation aber dahingehen, dass im Schatthangbereich die hohe Einstrahlung auf flachen Hochlagen zu finden ist, die ihrerseits entgegen den steileren Bereichen größere Deckenmächtigkeiten aufweisen müßten, die mit größerer Frische einhergehen. Allgemein vermitteln Standortskarten konform dazu auch sonst den Eindruck, höhere Frische entweder vermehrt in flachen oberen oder konkaven unteren Partien vorzufinden.

Da die IL EINSTRMOD und EINSTRMODBES bisher kaum verwendet wurden, könnte der Eindruck entstehen, sie nicht mehr erstellen zu müssen. Zuvor sollten aber mit einer z.B. um BFG 25 erweiterten Berglanddatenbasis Versuche durchgeführt werden, ob sie doch sinnvoll zur Strukturierung der Hänge in Frischegrade zu nutzen sind. Zur Zeit tragen sie nicht dazu bei, Hänge innerhalb Schatt- und Sonnhang weiter zu differenzieren, weil diese Differenzierung durch andere Variablen geleistet wird. (0, 1, 1, 1).

Informationslagen auf Basis der GK25 (5.3.1 und 7.1.4.1)

Eine zugrundeliegende Perspektive der Arbeit war: Aus mehr oder minder leicht verfügbaren Primärdaten sollen Modelle aufgebaut werden, die einen flächendeckenden Vorschlag zur Kartierung von Standortklassen hervorbringen. Es ist nicht in erster Linie zu prüfen, ob sich bestimmte Klassen unterscheiden. Aus der Perspektive der Primärdaten waren Entscheidungen nötig, die es ermöglichen, ein zielführendes Modellkonstrukt zu erstellen. In diesem Sinn musste z.B. die geologische Information vollständig, d.h. ganzflächig „in Wert gesetzt“ werden. Es genügt nicht zu wissen, dass eine bestimmte geologische Ausprägung für FSK10-Klassen bedeutsam ist, denn in einem Anwendungsgebiet können geologische Werte auftreten, die bedeutsam sind, aber zuvor nicht in der Modellierungsdatenbasis vorkamen. Auch sie müssen im Vorfeld bewertet worden sein, damit im Modellvorschlag keine Fehlbereiche entstehen. Das ist durch einen allgemeingültigen Ansatz gewährleistet:

Eine vierschrittige Wertung von geologischen Einheiten in Hinblick auf ihre Substratrelevanz, gegliedert nach Decken und Unterlagerndem, wurde ausgearbeitet. Sie sieht eine primäre graduelle, mehrfache Wertung jedes petrographischen Wertes in Hinblick auf Substrateigenschaften, eine Gewichtung je nach Anzahl und Position der Werte, eine Schwellenwertanwendung zur kategorischen Festlegung des charakterisierenden Vorkommens der Eigenschaften und schließlich eine hierarchische Zuordnung zu einer prägenden Eigenschaft vor. Decken können demnach tendenziell kalkhaltig, basenreich, sandiger oder toniger sein, das Unterlagernde hingegen tendenziell kalkhaltig, basenreich, basenarm oder toniger. Dies war zumindest die Hypothese für weitere Arbeiten. Die abgeleiteten Eigenschaften wurden dann gutachterlich-regelhaft zur Lagerungsklassenherleitung genutzt; eine statistische Prüfung steht noch aus.

In 7.3.9 wurde der Fragenkomplex Bodenart - Lagerung - „Stauwasserausprägungen“ besprochen. Konkret zeigte sich, dass die Variablen DEC-T-INT und DEC-S-INT, UNT-T-INT und UNT-S-INT Stauwasser-BFG-Modelle nicht verbessern. Allerdings wurde dies aufgrund einer sehr geringen Datenbasis festgestellt und somit bleiben günstigere Ergebnisse nach Datenbaserweiterung zu hoffen.

Tab. 62 zeigt unten die IL aus GK25-Ableitungen. Die Intensitätsvariablen (-INT) sind anders definiert als die Anteilsvariablen SUB-1-ANTF und SUB-1-ANTFO, weil dabei nur Anteile bestimmter Substrat-1-relevanter Gesteine im EZG berücksichtigt werden, bei den anderen aber zusätzlich eine graduelle Intensität eines Standortmerkmals eingeht. Diese Aufteilung wurde vollzogen, weil wegen der Besonderheit und Seltenheit der Substratklasse 1 abseits stehende Modelle und Variablen verwendet wurden und der Kern der Lagerungsklassenmodellierung unabhängig davon konsistent stattfinden sollte. SUB-1-ANTF und SUB-1-ANTFO werden in MN 1 und MN 2 verwendet, Voraussetzung ist die Festlegung von Substrat-1-relevanten Gesteinen anhand bestimmter petrographischer Merkmale. Gelingt sie, so ist in Verbindung mit einigen geomorphologischen Variablen eine Ausweisung von Lagerung 11 bis 16 und damit von Substratklasse 1 möglich.

Dass das Unterlagernde der Lagerungsklassen mit den abgedeckten geologischen Einheiten der GK25 bzw. mit der Ableitung der Informationslage PETa (5.3.1) aus der GK25 korrespondiert, wurde in 7.1.3 gezeigt. Vor diesem Hintergrund wurde die Informationslage UNT-GK erstellt. Sie wurde regelbasiert zur Lagerungsklassenherleitung verwendet (7.1.5). Im allgemeinen arbeitet die Zuordnung der petrographischen Information zu einer Substrateigenschaft des Unterlagernden (SUB_{unten}) zufriedenstellend, wie Tab. 39 zeigt.

Die Tab. 41 zeigt die Kombination der Deckeneigenschaften, die aus dort dargelegten Gründen allerdings wenig aussagekräftig ist. In dem Bereich des Sollingvorlands liegen große Flächen der Eigenschaft „sandig“. Oftmals führte der GK25-Wert \wedge s der petrographischen Information zu dieser Einschätzung. Die Flächen stehen den extrem weitreichenden undifferenzierten Decken der Kartierung entgegen. Undifferenziert sind sie in dem Sinn, dass sie weder sandig, tonig, kalkig oder basenreich sind. Karte 2a und 2b zeigen bodenartenbezogene IL.

Wenn die IL mit strengen Schwellen integriert bewertet werden, sind die Ergebnisse durchaus zufriedenstellend, wie die Lagerungsklassenverteilungen in Abb. 50, Abb. 51 und Karte 3b zeigen. An anderen Orten wird aber Lagerungsklasse 22 zu weitreichend modelliert. So entsteht der Eindruck, dass die Einmischung des Unterlagernden in die zu charakterisierende Decke weit weniger stattfindet als eingangs angenommen wurde. Eine Decke sollte dann „sandiger“, schwach verlehmt oder verunreinigt sein, wenn die Fraktion Sand „von unten“ in sie eingearbeitet worden wäre.

Es wurde zwar in Modell MN 11 eine hohe Schwelle zur Festlegung der Eigenschaft „sandig“ angesetzt, und zwar >90 (7.1.4.1.8, Schritt 4) und nur wenigen petrographischen Werten in der Primärwertung wurden hohe Sandgehalte zugebilligt. Trotzdem ist das Resultat nach allen Gewichtungen und Wertungen der Schritte 1 - 4 (7.1.4.1) eine zu weitreichende Ausweisung des Wertes „sandig“ der Decke. Eine verbesserte Justierung der Wertungsschritte 1 - 4 für alle Eigenschaften ist angebracht.

Bei der Lagerungsklassenmodellierung tritt das Problem auf, dass der Unterlagerungsfall „Ton“ in der forstlichen Standortkartierungspraxis einerseits geologisch durch verwitterte Tongesteine, andererseits aber bodengenetisch durch *Tonverlagerung* und Tonbildung im auflagernden Lockermaterial bedingt sein kann. Der Anteil kann aber auch hoch sein, weil horizontweise Material aus frühen Ablagerungsphasen bereits viel Ton enthielt. Das erste wurde mehr oder minder gut erfasst, das zweite stellt mit den verfügbaren Geodaten ein Problem dar, was auch auf die Modellierung der Stauwasserstandorte durchschlägt. In diesem Sinn ist die fehlende Modellierbarkeit der *Tonbildung*, zu nennen. Hieraus

resultiert die Meinung, Unterlagerndes der Klasse 5, Ton, sei oftmals nicht von den Werten der GK25 abhängig, sondern von den Bodenbildungsprozessen.

Daraus ergibt sich die eigentliche künftige Aufgabe zu modellieren, wo innerhalb einer Decke Prozesse ablaufen, dass durch *Tonverlagerung* und *Tonbildung* das Unterlagernde der Substratklasse 5 (bzw. SUBLAG 24 u.a.) entsteht. Dies modelltechnisch zu erfassen, würde wahrscheinlich eine deutliche Verbesserung der Modelle bedeuten.

Als Orientierungshilfe für Standortkartierer aber können Karten der „Intensitäten der Eigenschaften“ der Substrate wie z.B. die Karte 2a und 2b bereitgestellt werden (vgl. Abb. 44). Sie fokussieren sich jeweils auf *eine* Eigenschaft, die für den forstlichen Standort von Bedeutung ist. Somit werden Informationen aus der großen Vielfalt geologischer Basisdaten extrahiert, aufbereitet und leicht überschaubar zur Verfügung gestellt. Durch das Eintragen der GK25-Basisdaten kann die Grundlage der abgebildeten Intensität nachvollzogen werden. Die standörtliche „Wertung“ in Hinblick auf Lagerung und Wasserhaushalt bleibt dann dem Kartierer überlassen.

Verallgemeinerndes zur Eignung von Informationslagen

Auffällig ist z.B., dass die Wölbungsvariablen PLAF, PROF und CURF fast nie eingesetzt werden. Die Nutzung solcher Variablen, die hingegen die weitere Umgebung von Zellen beschreiben (z.B. EXP210, EUCTIEW) hat den Vorteil, von kleineren Fehlern im DHM unabhängig zu sein. Im Gegensatz dazu beinhalten solche IL wie PLAF oder SLOF leicht Fehler, die sich in einer unruhigen, sprunghaften Abfolge von Zellenwerten auf engem Raum darstellen.

Im Zuge einer Ergänzung der ideellen Datenbasis können deshalb sogleich bestimmte Variablen, die selten verwendet wurden oder von denen angenommen wird, dass sie örtlich zu unbrauchbaren Klassenwerten führen, nicht mehr vorgegeben werden. Variablenauswahl erstreckt sich dann auf Variablen, von denen bessere Eignung und Fehlerfreiheit bekannt ist.

Tab. 62 zeigt die vorgeschlagene zukünftige Verwendung von Variablen an (V. ist 0 oder 1). Etwa die Hälfte wird verworfen, die andere Hälfte weiter verwendet. Somit haben die Arbeiten den Zweck erfüllt, herauszukristallisieren, welche Variablen nicht mehr produziert werden müssten, was anfangs, aber auch bei allen Folgearbeiten, zu Rationalisierung führt.

Folgende fünf Variablen wiesen in den Diskriminanzmodellen jeweils dreimal die höchsten pR^2stay -Werte auf (vgl. 6.2.3): SLOF, FLI-IL, EXPSUMNAH, EXP210, EUCTIEW.

Grundlage können allerdings recht unterschiedliche höchste pR^2stay -Werte gewesen sein, denn die Modelle sind unterschiedlich erfolgreich. Trotzdem ist dies zumindest ein weiterer Anhaltspunkt für die zuvor diskutierte und entschiedene Eignung von Variablen, die sich in der Erstellung der Karten 1a bis 1c (Anhang) niederschlägt.

Auffällig ist die Auswahl von verwandten Variablen im selben Teilmodell. Beispielweise werden PATLENF und PATLENFW in Modell MN 12, das GFO Rücken von „Anderen“ trennt, neben drei weiteren Variablen gewählt. PATLENFW war über die Wurzelfunktion aus PATLENF abgeleitet worden (5.2.3.7). Beide Variablen können aber durchaus zusammen Verwendung finden, weil sie den Raum über unterschiedliche Zellenwerte unterschiedlich beschreiben, sie beinhalten eine unterschiedliche Information und können somit zur Trennung von Klassen beitragen.

Da ein verschachteltes Vorgehen zugrunde liegt, werden „hintereinander“ geomorphologische Variablen verwendet. Zuerst werden drei Substratbereiche voneinander getrennt. Danach werden in ihnen Geländeformklassen ausgewiesen. Darin ergeben sich schließlich Bodenfeuchtigkeitsklassen. Es war anzunehmen, dass Variablen, die zu Anfang einbezogen wurden, später nicht mehr zur Klassentrennung verwendet würden, weil das Wertespektrum einer Variablen nach und nach eingeschränkt wird: Wenn Variable V1 zu Anfang benutzt wurde, um Klasse K1 von K2 zu trennen, wird das Spektrum innerhalb K1 und K2 jeweils enger sein als über beide Klassen hinweg. Ein engeres Spektrum würde keine weitere Differenzierung in nachfolgenden Schritten erlauben. In der Zusammenschau von Tab. 61 und Tab. 62 kann nachvollzogen werden, in welcher Modellierungssituation Variablen Verwendung fanden. Der Modellierungsgang kann ausgehend von kleinen modellierten Einheiten zurückverfolgt werden (Bsp.):

MN 31 trennt BFG 3 gegen 4u6 innerhalb GFO Tal_{schmal} innerhalb Substrat Festgestein.

MN 31 benötigt vorgeschaltete Modelle: 4, 12, 13, 14, 15, 30.

MN 31 verwendet die Variablen EZGFFFW und HOEDIFTIE.

Größere Werte von HOEDIFTIE förderten die BFG-Klasse 4u6.

HOEDIFTIE wird im vorgeschalteten Modell MN 14 bereits genutzt.

MN 14 trennte GFO-Klasse Hang gegen GFO Andere (Tal_{schmal}∪Tal_{grw}) innerhalb Substrat Festgestein.

Größere Werte von HOEDIFTIE förderten die GFO-Klasse Hang.

Kommentar: Beide Wirkungen von HOEDIFTIE waren sinnvoll.

Das Beispiel macht klar, dass Variablen mehrmals „hintereinander“ in Modellen verwendet werden können. Dies ist möglich, weil durch die Linearkombination gewählter Variablen einzelne Variablen in jedem Modell unterschiedlich eingebunden sind und nur das Modell als Ganzes die Trennung der Klassen bewirkt oder weil eine Variable wider Erwarten ein so weites Spektrum hat, dass sie zur Differenzierung mehrerer reliefabhängiger Klassen genügt. Weitere Beispiele könnten angeführt werden.

Ob Variablen in nachgeschalteten Modellen genauso häufig und genauso wirkungsvoll zum Einsatz kommen wie in vorgeschalteten Modellen ist nicht zu klären. Das bewirken erstens die Ausnahmen vom schematischen Ansatz wie z.B. die synchrone statt der schrittweisen Trennung von Klassen in dem gesamten Modellverlauf und zweitens müssten dann die pR^2stay -Werte genau verglichen werden, was nicht aussagekräftig möglich ist. Denn pR^2stay -Werte genügen nur der Aufstellung einer Rangordnung und sind nicht exakt numerisch vergleichbar (6.2.3).

Zur Interpretation von Informationslagen bzw. Variablen ist schließlich zu sagen: Die Ablehnung zum Beispiel der Informationslage SLOF (5.2.3.1) in einer bestimmten Modellierungssituation bedeutet *nicht*, dass die „Hangneigung“ als morphometrische Größe keinen Einfluß hätte, sondern nur, dass die IL „Hangneigung, gemittelt“, wie sie hier mit der Software ARC/Info berechnet wurde, keinen genügenden Einfluß hat, um in ein Diskriminanzmodell aufgenommen zu werden. D.h., andere Variablen lassen eine bessere Kombination in Form einer Diskriminanzfunktion zu. In diesem Sinn sollten IL ohnehin gesehen werden und nicht nur wegen Namensähnlichkeit oder der Kenntnis „ähnlicher“ IL verglichen und sogar gleichgesetzt werden. Jede IL steht zuerst einmal mit ihrem spezifischen Wertespektrum für sich selbst; die Interpretation muss rein sachlich in Hinblick auf Plausibilität bei ihrer Anwendung in Standortmodellen vollzogen werden.

8.3 Konsequenzen in Hinblick auf Verbesserung und Anwendung

Ergänzung der ideellen Datenbasis und Übertragung verbesserter Modelle

Je mehr kartierte Waldflächen der Datenbasis zu Grunde liegen, desto allgemeingültiger wird sie sein; somit ist eine Erweiterung anzustreben. Ein nach Höhenlage und Position vergleichbarer Raum im nördlichen Bergland ist der Elm südöstlich von Braunschweig (FOA Elm, bzw. Königslutter und Schöningen). Er wurde aktuell im Jahr 2002 kartiert und könnte somit sinnvoll zur Ergänzung der ideellen Datenbasis (DB₁) herangezogen werden.

Desweiteren ist nach Einbeziehung der Kartierung der Genossenschaftsforsten des FOA Reinhausen in die ideelle Datenbasis eine Modellübertragung auf seine Staatswaldflächen denkbar: Beide Bereiche sind eng miteinander verzahnt, so dass naturräumliche Ähnlichkeit vorliegt. Gleiches gilt für anschließende, kleinere Privatwaldflächen. Wenn in der ideellen Datenbasis nennenswert viele sehr ähnliche Bereiche integriert sind, ist ein hoher Modellierungserfolg anzunehmen. Das Geländehöhenspektrum von etwa 200 bis 400 m und auch die geologische Ausstattung mit ausschließlich triassischen Festgesteinen, z.T. überlagert mit Löß(-fließerden) ist typisch für den nördlich anschließenden Raum „Bergland“.

Auch standörtliche Daten im Schnitt des TK25-Blattes 4024 Alfeld, die aus dem NIBIS-Datenbestand bereits im Maßstab 1:25.000 veröffentlicht wurden (STEININGER 1996), könnten nach Aktualitätsprüfung herangezogen werden. Eine Anwendung in größeren, kompakten Waldarealen, wie z.B. den Sackbergen östlich von Alfeld (FOA Alfeld) oder dem Hildesheimer Wald (FOA Diekholzen), die zum Teil von Betreuungsförsten bestockt sind, ist, soweit sie noch nicht kartiert wurden, gut vorstellbar.

Um einerseits Lücken im Spektrum der modellierbaren Klassen zu schließen und andererseits Teilmodelle zu verbessern, ist allerdings eine maximal erweiterte Zusammenstellung der Datenbasis in Betracht zu ziehen. Dazu gehört die Beschaffung

- der gesamten neueren nach 1988 erstellten FSK10dig → Umfassendes Berglandmodell
- des gesamten DGM5 und ggf. der Ausfüllung der Lücken mit TK25-Daten
- der gesamten neueren (nach 1945) erstellten GK25dig.

Den größten Arbeitsaufwand stellt dabei sicherlich der Aufbau der digitalen GK25-Basis wegen der Vielfältigkeit der geologischen Attribute und Werte, der blattschnittweisen Datenhaltung und der Notwendigkeit der Modifikation der Daten bis hin zur Erstellung abgeleiteter Informationslagen dar (5.3.1 und 7.1.4.1). Erschwerend wird allerdings die anschließende Verwaltung der beiden grundsätzlich unterschiedlichen Datensätze mit und ohne GK25-Information sein.

Modellkonzept

Mit einer deutlich größeren Datenbasis könnte versucht werden, auch die Standortkomponente Substrat / Lagerung auf statistischen Wege herzuleiten, indem man die mutmasslich bestimmenden Variablen (DEC-K-INT, DEC-R-INT, DEC-T-INT, DEC-S-INT) neben den geomorphologischen Variablen einbringt. Eventuell würde dann auch die zwischengeschaltete Modellierung der Deckenmächtigkeit als sekundäre Variable überflüssig, weil die dafür bestimmenden primären Variablen direkt verwendet werden könnten. Die der IL UNT-GK (Unterlagerndes aus GK25) zugrunde liegenden Intensitäten der Eigenschaften des Unterlagernden könnten als stetige Variablen getestet werden, wie es in Abschnitt 7.3.2 bei der Stauwasserherleitung versucht wurde. Diese andere Art der Einbeziehung der GK25-Ableitungen löst allerdings nicht das Problem, dass die einzelnen petrographischen und / oder stratigraphischen Werte der

GK25 in Hinblick auf die Substrateigenschaften zuerst besser eingeschätzt werden müßten. Das Problem der Quantifizierung der Substratbildungsprozesse, insbesondere der Mischung aus z.B. äolischen Deckenmaterial und Verwitterungsmaterial des Anstehenden bliebe auch ungelöst.

Konzeptionelle Modellalternativen, die sich auf die Zusammenführung von kartierten und unkartierten Bereichen des Berglandes mit Hilfe von Clusteranalysen stützen, wurden zwar getestet, aber vorläufig verworfen. Mit einer deutlich vergrößerten Datenbasis sind eventuell Erfolge zu erreichen, obwohl einige in 7.1.2.3 vorgestellte Indizien dagegen sprechen.

Informationslagen / Variablen / Zusatzinformationen

Möglicherweise führt auch die Einführung von anderen Informationslagen als nur der zwei Form-Lage Indizes (FLI-I und FLI-IL, 5.2.3.11) auf Basis eines inversen DHM zu weiteren Verbesserungen. Andererseits widerspricht dies dem Wunsch, die Datenbasis insgesamt einzudämmen. Neue IL würden auch ein erneutes Aufstellen der Teilmodelle nach sich ziehen. Generell fordert aber die Eignung von IL, die den Raum um Zellen umfassender quantitativ beschreiben, dazu heraus, weitere IL zu erzeugen bzw. der Literatur weitere IL zu entnehmen.

Der ATKIS-Objektkatalog sollte hinsichtlich standortrelevanter Einträge geprüft werden; Informationen zu Mooren, Vernässungen, vegetationslosen Flächen etc., also Informationen zu Vegetation und Gewässern im weitesten Sinn, können als punktueller Zusatz zur Differenzierung der Wasserhaushaltskomponente dienen.

Harmonisierung der Standortdaten in kartierten Bereichen

Es ist sicher leichter eine Harmonisierung bestehender Kartierungen z.B. für den Raum Harz durchzuführen, als übertragbare Modelle für unkartierte Räume zu erstellen, was im Vorfeld dieser Arbeit bereits testweise begonnen wurde. Harmonisierung kann hier bedeuten, im Prinzip eine Reklassifikation der Standorte durchzuführen. Der Vorteil, bzw. der Grund für einen sehr viel einfacheren Sachverhalt ist, dass bereits bekannt ist, welche Standortklassen in welcher Ausdehnung vorkommen. Der Westharz mit etwa 64.000 ha Staatswald und etwa 10.000 ha Wald anderer Besitzformen bietet sich dafür besonders an, weil er größtenteils relativ aktuell kartiert wurde. Hier ist es im Zuge der Harmonisierung auch möglich, die wenigen noch nicht oder nur altkartierten Flächen mit neuer oder aktualisierter Standortinformation zu belegen.

Denkbar ist nach Erfahrungen bei der Modellierung bzw. Harmonisierung von Standorteinheiten des westlichen Harzes eine methodische ähnliche Übertragung auf den benachbarten östlichen Teil im Land Sachsen-Anhalt, zumindest auf seine anschließenden Wuchsbezirke Hochharz und Mittelharz. Zur Zeit bestehen fast flächendeckend analoge Kartierungen (SCHMIDT 2002), die als Grundlage für einen solchen Harmonisierungsschritt dienen könnten.

Niedersächsisches Tiefland

Es erscheint abwegig, ähnliche Modelle für das niedersächsische Tiefland aufstellen zu wollen, weil für diesen Raum die Eignung von geomorphologischen Variablen nicht einleuchtet. Für das Land NRW werden aber z.Z. erfolversprechende Arbeiten ausgeführt, die auf einer reliefbedingten Umsetzung von Einheiten der BK50dig beruhen. Statistische Verfahren und spezifische Variablen, die auch geringe Höhendifferenzen im Raum ausdrücken, zergliedern die Fläche und erzeugen damit eine Werteverteilung,

die von Seiten des Generalisierungsgrades der FSK10 nahekommt. In diesem Sinn wäre auch die digitale BK50 des Landes Niedersachsen auf Eignung zu testen.

Technische Gesichtspunkte

Sobald ein GIS oder eine verwandte Software z.B. aus dem Bereich der Satellitenbildfernerkundung die gleichen Diskriminanzfunktionen anhand eines vorgegebenen Datensatzes DB₁-2 (6.1.6) berechnen kann, sollten die Arbeiten, die separat mit der Statistiksoftware SAS und dem GIS ARC/Info ausgeführt wurden, zusammengelegt werden. Viele Schritte des Datentransfers wären dann hinfällig (vgl. Abb. 35). Es wäre auch sinnvoll, Zielklassenanteile, die iterativ per *a-priori*-Wert eingestellt wurden, automatisch herleiten zu lassen. Dazu müßte ein Mechanismus programmiert werden, der die *a-priori*-Werte solange verändert, bis alle Zielklassengrößen nicht mehr als z.B. 10 % von einer Vorgabe abweichen. Beide technischen Ergänzungen würden eine starke Rationalisierung bei der eigentlichen Anwendung bedeuten.

GIS-Anwendung im weiteren Kontext

Möglichkeiten einer rationellen GIS-Anwendung, vor allem unter Einbeziehung von Höhendaten, werden bei der Modellierung von Gefährdungspotenzialen, die auch ein Kriterium der Standortkartierung sind, gesehen. Anhand der Aufzeichnungen der Forstämter bzw. Forstreviere aus den letzten Jahrzehnten könnten z.B. typische Positionen von Windwurfereignissen, die von Boden- und Witterungsparametern abhängen, ausgewiesen werden. Auch die durch Kaltluftseen verursachten Frostschäden können ein geeignetes Untersuchungsobjekt sein. Zur Herleitung können Aufzeichnungen aller Teilräume des Berglandes dienen, da dererlei Erscheinungen universellen Charakter haben.

Vorschläge für die Modifikation des heutigen Verfahrens

Eine der einfachen Unterscheidungen im Gesamtkonstrukt der Standortklassen ist die zwischen Schatt- und Sonnhängen. Sie ist aktuell expositionsgebunden. Hier könnte stattdessen eine Einstrahlungsvariable benutzt werden (7.3.1), die eine sehr ähnliche „Halbierung“ der Hänge bewirkt. Es drängt sich natürlich die Frage auf, ob bestehende digitale Kartierungen revidiert werden könnten. Die Veränderung müßte sich auf einen Austausch der BFG-Klassen 18 - 20 und 22 - 25 beziehen, nicht nur auf zwei Hangklassen. Obwohl gezeigt wurde, dass in den beiden Hangpartien unterschiedliche Modelle greifen (7.3.3) und bereits die BFG-Klassenvorgabe im GÖS Unterschiedlichkeit suggeriert, wäre eine gegenseitige Umsetzung von BFG 18 zu 22, 19 zu 23 und 20 zu 24 in den durch eine Einstrahlungsvariable neu definierten Hangpartien vertretbar (vgl. Tab. 5).

Desweiteren wird vorgeschlagen eine Entkopplung und Entzerrung der Klassen, die im weitesten Sinn Stauwasserphänomene dokumentieren, vorzunehmen. Zur Zeit sind solche Standorte einerseits in den BFG-Klassen 12 bis 15 und 17 und 21, andererseits indirekt in Lagerungszahlen und zusätzlich mit Varianten verschlüsselt (7.2.10). Schon eine textliche Veränderung im GÖS, nämlich das Löschen solcher Begriffe wie „staugefährdet“, „stauend“ oder „mit Staukörper“ bei den Substrat / Lagerungszahlen würde zu einer konzeptionellen Entzerrung führen, die nicht nur bei dem Modellierungsgang, sondern wahrscheinlich auch bei der konventionellen Kartierung förderlich wäre. Ohnehin sind Stauwassermerkmale immer von den selben Faktoren abhängig, gleichgültig, in welcher Komponente sie verschlüsselt werden.

Durch die Zerlegung der Standortstypeninformation in ihre Komponenten ergab sich auch der Eindruck, dass eine Visualisierung der einzelnen Komponenten nach der ersten flächenhaften Kartierung eines Gebietes dem Kartierer bei der Aufdeckung von unwahrscheinlichen Wertvergaben behilflich sein kann. Die gleichzeitige Visualisierung mehrerer Standortkomponenten hingegen ist kartographisch schwierig und verwischt den Eindruck der Lage der Standortstypenverteilung im Raum.

8.4 Schlußbewertung

Übergeordnet ist die Frage nach der Akzeptierbarkeit des Gesamtmodells. Die ursprüngliche Intention ist, Informationen für die Kartierung bereitzustellen. Wenn die in Karten abgebildeten Modellergebnisse mit der Realität übereinstimmen, wäre eine Kartierung überflüssig. Wenn die Ergebnisse an kaum einem Ort übereinstimmen, wäre das Modell auch für einen Kartierungsvorschlag (!) zu verwerfen, da der Kartierer nicht fehlgeleitet werden sollte. Die Übereinstimmung eines Modells liegt je nach Standortkomponente und Klasse zwischen diesen Extremen. Wann ist ein Modell „gut genug“, wann ist es „zu schlecht“? Numerische Teilergebnisse der Übertragung auf das Validierungsgebiet und auch Vergleiche zwischen Kartierung und Modell in anderen Teilgebieten sind einerseits nicht so unplausibel, dass sie verworfen werden müssten. Andererseits sind die Teilergebnisse aber auch nicht in dem Maß zutreffend, dass eine unkritische Akzeptanz zu fordern wäre. Der Gesamteindruck ist allerdings, eine durchaus sinnfällige Kartierungsvorgabe erstellen zu können (vgl. Karte 3a, 3b und 4a, 4b).

Insgesamt erscheint die Lagerungsklassenherleitung problematischer als die Modellierung des Wasserhaushalts zu sein. Besonders die Eigenschaften der auflagernden Decke, wie Bodenart und Chemismus, sind schwer zu erfassen und zu werten. Innerhalb dieses Komplexes scheint es schwieriger, den Charakter der Bodenart als den des Chemismus zu bestimmen; besonders schwierig ist die Abschätzung der Tonhaltigkeit. Bezogen auf den „Ton“ im allgemeinen wird das größte Problem gesehen, denn auch der Toncharakter des Unterlagernden ist schwer abschätzbar. Hier gilt es Faktoren zu modellieren, die mit den anfangs aufgestellten, vereinfachenden Thesen nicht vereinbar sind. Das mehrmals angesprochene Problem der adäquaten Herleitung von Stauwasserphänomenen hängt damit zusammen. Dass Stauwasser und bestimmte Lagerungsverhältnisse miteinander einhergehen war bereits eingangs klar und wurde auf verschiedene Weise gezeigt und erläutert. Die beschriebenen Probleme lassen aber vermuten, dass Lagerungs- und BFG-Modelle nur dann deutlich besser sein werden, wenn ein Zusatzmodell zur Beschreibung der Tonvorkommen im „Gesamtprofil“ erfolgreich arbeitet.

Bereits SABELBERG & ROHDENBURG (1983:136) forderten, dass ein Modell zur Forstlichen Standortkartierung „den planerischen Anforderungen der Forsteinrichtung genügen“ müsse. Dies heisst, die Auflösung der Standortstypen, die Größe und das Gefüge der Flächen, muss wie auch die konventionelle Kartierung in der 10 m- bis 100 m-Größenordnung rangieren. Dies wird durch die Modelle erreicht. Darüber hinaus ist eine Diversität der Standortklassen gefordert, wie sie im Gelände vorliegt: In einem Raum, der z.B. fünfzehn Lagerungsklassen und fünfzehn BFG-Klassen aufweist, sollte das Modell nicht nur je zehn dieser Klassen hervorbringen. Auch diese Anforderung kann durch die Modelle erfüllt werden.

Neun Karten könnten zur Kartierung vorgegeben werden (vgl. Anhang): 1a bis 1c zeigen die Informationslagen EXP210, EXPSUMNAH und FLI-IL. Karte 2a und 2b sind Beispiele für Ableitungen aus der GK25, die sich auf eine substratbezogene Eigenschaft beziehen: Neben Sand- und Tonhaltigkeit (2a, 2b) wären Kalkhaltigkeit und ggf. Basenreichtum abzubilden. Karte 3b und 4b zeigen schließlich modellierte Lagerungsklassen bzw. Klassen von Bodenfeuchtigkeit und Geländeform.

Ähnliches wurde in der Vergangenheit bereits praktiziert: Bei Kartierungen wurden Karten der IL EXP8, also einer EXP210 verwandten IL, zur Einschätzung der Geländeposition herangezogen. Dies sollte in dem Sinn erweitert werden, dass drei geomorphologische Informationslagen sowohl zur Modellierung als auch zur Geländearbeit verwendet werden.

Die Arbeit kann dazu beitragen, die Vergleichbarkeit von Standortkartierungsverfahren zu fördern, wie es OTTO (1999:290) wünscht und in Anbetracht von WOLFF et al. (1999) für die Zukunft sieht. Denn GIS-Einsatz und das damit verbundene formalere, objektivere Arbeiten, verbunden auch mit der Zerlegung der Standortkarteninhalte in ihre Komponenten, sind Voraussetzungen für eine Parallelisierung der Forstlichen Standortinformation der Bundesländer.

Die zugrunde liegende Motivation war, eine hilfreiche Information für Kartierungen bereitzustellen. Ob die Ergebnisse dazu geeignet sind, bleibt in der Praxis zu testen. Davon abgesehen beleuchtet die Arbeit das Verfahren der Forstlichen Standortkartierung im Niedersächsischen Bergland im Umfeld der geowissenschaftlichen Modellierung.

9 ZUSAMMENFASSUNG

Modelle zur Unterstützung der Forstlichen Standortkartierung im Niedersächsischen Bergland sind Gegenstand der Arbeit. Modellierungsbasisdaten entstammen 9.000 ha kartierter Fläche im südlichen Bergland zwischen Harz und Solling, verteilt auf mehrere Reviere bzw. Forstämter. Validierungsdaten von 1.600 ha Waldfläche stehen ihnen gegenüber.

Kartierte Forstliche Standortstypen werden zuerst in Komponenten zerlegt: „Substrat“, „Substrat / Lagerung“, „Geländeform“ und „Bodenfeuchtigkeit und Geländeform“. Sodann werden spezifische Teilmodelle formuliert, um flächenhaft Klassen, die auf einer Aggregationsstufe einer Komponente stehen, zu modellieren. Komponenten sind unterschiedlich aggregiert bzw. unterschiedlich detailliert aufgelöst: Bodenfeuchtigkeitsklassen sind detaillierter und weniger aggregiert als Geländeformklassen. Entsprechendes gilt für Lagerungsklassen und Substratklassen.

Grundlage zur Strukturierung des Modellaufbaus sind einerseits der „Geländeökologische Schätzrahmen Bergland“ (GÖS 2000) des Niedersächsischen Forstplanungsamtes Wolfenbüttel und andererseits Auskünfte der Kartierer zu Ausprägungen der Standortmerkmale bei einzelnen Standortklassen bzw. Standortstypen. Definitionen des GÖS 2000 werden auf das Wesentliche reduziert und systematisch geordnet und die Niedersächsische Forstliche Standortkartierung vor dem Hintergrund der angestrebten Modellierung dargelegt. Parallelen und Unterschiede zu anderen Kartenwerken werden aufgezeigt. In Hinblick auf deren Modellierungseignung wird vor allem der Unterschied zur GK25 verdeutlicht. Ansätze zur Modellierung von Reliefeinheiten, bodenkundlichen und physisch-geographischen Einheiten werden vorgestellt und die Arbeit damit eingeordnet.

Als eine weitere Grundlage wird eine Vielzahl geomorphologischer und einige geländeklimatische Informationslagen (Variablen) erstellt; sie lehnen sich z.T. an Literaturvorgaben an, z.T. sind sie für die vorgestellten Anwendungen im Bereich der Forstlichen Standortkartierung produziert worden. Zudem werden dig. GK25-Informationen forststandörtlich gewertet, so dass für Bereiche mit GK25-Information weitere Informationslagen entstehen.

Der methodische Kern ist eine verschachtelte Abfolge von Diskriminanzmodellen, die detailliertere Standortklassen innerhalb zuvor modellierter, weniger detaillierter Klassenbereiche ausweisen. Modellierungszweige je Standortkomponente werden durchlaufen. Neben der Verschachtelung besteht ein schrittweises Vorgehen: Klassen gleicher standörtlicher Aggregation werden meist schrittweise, nicht zugleich, voneinander getrennt. Grundlegend ist in diesem Zusammenhang, für jedes Teilmodell eine spezifische Datenbasis aufzubauen, die erstens gleich große Klassen enthält und in der zweitens Gruppenklassen gleich große Anteile der gruppierten Klassen enthalten. Diese von der ursprünglichen Datenbasis abweichende Basis wird „ideell“ genannt. Sie soll in Hinblick auf mögliche Anwendungsgebiete allgemeingültig sein. Zielklassengrößen sind mit *a-priori*-Annahmen zu steuern.

Anfangs werden drei Substratklassen mit geomorphologischen Variablen modelliert: Feinbodenreiche Areale (Lößbereiche), Kolluvien/Alluvien und gruppiert alle davon abweichenden Substrate (Festgesteinsbereiche). Die Aufteilung des Raumes in diese drei Substratklassen mit geomorphologischen Variablen ist flächendeckend möglich. Eine Aufteilung in Lagerungsklassen und damit auch eine Differenzierung der Substratgruppenklasse „Festgesteine“ (basenarme, basenreiche Standorte, Ton- und Kalkstandorte) kann nur im Bereich vorhandener GK25-Information erfolgen, weil das „Unterlagernde“ bekannt sein muss. Dies bedeutet eine Modelleinschränkung auf den Wasserhaushalt und auf drei Substratklassen für den nur mit Höhendaten ausgestatteten Raum. Substratklassen der Festgesteinsklasse ergeben sich indirekt, indem Lagerungsklassen modelliert werden.

Dazu ist eine primäre, graduelle Wertung petrographischer Einzelwerte der GK25 durchzuführen. Mehrere Gewichtungsschritte und schließlich eine hierarchische Wertung bestimmen die Eigenschaft der Decke und des Unterlagernden. Deckeneigenschaften werden als „Intensitäten“ der Eigenschaften im Einzugsgebiet einer Zelle ausgedrückt, das Unterlagernde wird dagegen nur durch die Lokalität selbst bestimmt. Zusätzlich werden Mächtigkeiten der auflagernden Decke für drei Substratklassen hergeleitet, so dass die Grundlagen für eine Ausweisung von Lagerungsklassen bereitstehen.

Die Wasserhaushaltsmodellierung beginnt mit der Ausweisung von Geländeformklassen innerhalb der drei Substratklassen. Bodenfeuchtigkeitsklassen als eigentliche Wasserhaushaltsinformation werden sodann innerhalb der Geländeformklassen modelliert. Ein Modellierungszweig des Wasserhaushalts endet, wenn die Datenbasis bestimmte Zielklassen, die der GÖS vorgibt, nicht enthält; es handelt sich insofern um ein limitiertes Modell. Sofern es standörtlich vertretbar ist, werden Daten des Harzes herangezogen. Theoretisch endet ein Zweig auch, wenn verfügbare Variablen eine Trennung bzw. Ausweisung zweier oder mehrerer Klassen nicht erlauben. Hingegen ist das Lagerungsmodell unlimitiert, da es kein an vorgegebene Klassen gebundenes statistisches Verfahren ist: Regeln des Schätzrahmens werden nur auf Basisinformationslagen angewendet.

Manche von dem methodischen Kern abweichende Modelle sind einfach, wie z.B. die regelhafte Ausweisung bestimmter Hänge. Andere sind aufwändig und bedürfen einiger Vorarbeiten, die selbst als Modell bezeichnet werden können: Fast der gesamte Vorgang der Lagerungsherleitung wurde als nur ein Modell aufgefasst. Dem liegen aber die Herleitung von Deckenmächtigkeiten und die Inwertsetzung der GK25-Information zugrunde, die in Informationslagen münden, aber nicht direkt in Standortklassen.

Konzeptionelle Alternativen zur Methodik werden am Beispiel von drei Substratklassen vorgestellt. Nicht die ideelle Datenbasis wird benutzt, sondern entweder durch die Festlegung zielraumspezifischer Modellierungsgebiete oder die Festlegung von Modellierungsclustern als Modellierungsteilgebiete eine Zuordnung von unkartierten zu kartierten Bereichen hergestellt. Aus modelltechnischen Gründen, die im Grunde mit der Menge und Verteilung von kartierten und unkartierten Bereichen im Raum zusammenhängen, werden die Alternativen verworfen, obwohl sie theoretisch sinnvoll sind. „Zusatzmodule“ ergänzen den Modellverlauf, wenn durch Mängel im Modellzwischenergebnis Bedarf besteht und Daten, wie Strukturdaten der Höheninformation, flankierend eingebaut werden können.

Wenn sich Zielklassen einer Modellierungssituation kategorisch deutlich von anderen unterscheiden, wurde modellverbessernd eine schrittweise Reihenfolge des Modellierens bestimmt. Voraussetzung dafür ist die Bildung einer Gruppenklasse „Andere“, von der die aktuelle Zielklasse zu trennen ist. Läßt sich standörtlich keine Klasse „Andere“ bilden, kann eine synchrone Modellierung ausgeführt werden. Wenn wenige und ordinal unterscheidbare Klassen vorliegen, ist es nicht ausgeschlossen, dass auch sie synchron in einem Schritt, also ohne Festlegung einer Reihenfolge, voneinander getrennt werden.

Charakteristisch ist die Zerlegung in mehrdimensionaler Hinsicht, so nach Standortkomponenten, Aggregationsstufen der Komponenten, Schichten und deren Merkmalen und nach Modellen, die nur die Variablen heranziehen, die für die aktuelle Modellsituation geeignet sind. Die Wahl unterschiedlicher Variablen bei der Modellierung gleicher Klassen in unterschiedlichen vorgeschalteten Teilbereichen zeigt, dass geschachtelte Modelle, die sich auf einen zuvor ausgewiesenen Bereich beziehen, sinnvoll sind. Auch der Sachverhalt, dass Klassen gleicher Aggregationsstufe in bestimmten Teilräumen nicht auftreten, spricht für eine Zergliederung der Datenbasis und somit für eine Zergliederung in Teilmodelle.

Variablen, die die Umgebung einer Zelle weiträumiger beschreiben, sind besser geeignet als solche, deren Werte sich auf eine engere Umgebung beziehen. Exponiertheitsvariablen der näheren und weiteren Umgebung, Form-Lage-Indizes aber auch Distanzen zu bestimmten Geländeausprägungen kleiden das Relief im Hinblick auf forstliche Standortklassen sinnvoller aus, da sie die bodengenetischen und geländeklimatischen Prozesse besser abbilden. Auffällig ist die geringe Bedeutung von Einstrahlungsvariablen, z.T. ist dies aber durch das verschachtelte Modellkonstrukt bedingt. In Zukunft nur noch etwa die Hälfte aller Variablen zur Verwendung bereitzustellen ist eine Erkenntnis, die auf die Rationalisierung des Verfahrens abzielt. Auch solche Variablen können ignoriert werden, die statistisch bedeutsam sind, aber die Ausformung und Konstellation von Standortpolygonen negativ beeinflussen.

Die Lockergesteinsinformation der GK25 erscheint für die FSK10-Modellierung nicht geeignet. Die Festgesteinsinformation ist hingegen zumindest als Unterlagerndes und mit Vorbehalt auch zur Charakterisierung der Decken geeignet. Die Charakterisierung der Decken, u.a. in Hinblick auf Stauwasserphänomene, wird als Hauptproblem und somit Hauptaufgabe weiterer Arbeiten gesehen.

Insgesamt scheinen die Modelle ausreichend, um eine Kartierungsunterstützung darzustellen. Dies kann in Form von zwei Karten der „Lagerung“ und der „Bodenfeuchtigkeit und Geländeform“ geschehen. Weitere Karten können geologische und geomorphologische Informationen zeigen, die zur forststandörtlichen Differenzierung des Raumes geeignet sind.

10 Literatur

- ACKERMANN, F. (1993): Das MOMS-02 - Stereosegment - Ein hochgenaues System der digitalen Photogrammetrie. GIS, **6**(1):16-22.
- AG BODENKUNDE (1982, 1994): Bodenkundliche Kartieranleitung -KA3- bzw. -KA4-. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hg.). 3. und 4. Aufl., Hannover.
- AHNERT, F. (1989): The major landform regions. In: AHNERT, F. (Hg.): Landforms and landform evolution in West Germany. Catena Suppl.-Bd., **15**:1-9.
- ALDINGER, E., BAYER, J., BUTZ, H. & GEISEL, M. (1996): Anwendung von FOGIS in der Standorts-, Waldbiotop- und Waldfunktionenkartierung. AFZ / Der Wald, **51**(10):540-542.
- ANDRES, E. (1984): Kohlenstoff-Umsatz und -Bilanz des Bodens eines Buchenwald-Ökosystems auf Kalkgestein. Göttinger Bodenkundl. Ber., **80**.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VERMESSUNGSVERWALTUNGEN DER LÄNDER DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (ADV) (1998): ATKIS-Objektartenkatalog (ATKIS-OK), Teil D0.
- ARBEITSKREIS FÜR BODENSYSTEMATIK DER DEUTSCHEN BODENKUNDLICHEN GESELLSCHAFT (ABDBG) (1998): Systematik der Böden und der bodenbildenden Substrate Deutschlands.- Systematik der Böden - Systematik der bodenbildenden Substrate - Gliederung periglaziärer Lagen. Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges., **86**:1-180.
- ARBEITSKREIS FORSTLICHE STANDORTSKARTIERUNG (AKS) (1980): Forstliche Standortsaufnahme. 4. Aufl., Münster.
- ARBEITSKREIS FORSTLICHE STANDORTSKARTIERUNG IN DER ARBEITSGEMEINSCHAFT FORSTEINRICHTUNG (AKS) (1996): Forstliche Standortsaufnahme. 5. Aufl., München.
- ASCHE, N. (2001): Standortgerechte Baumartenwahl in Nordrhein-Westfalen. AFZ / Der Wald, **56**(16):826-829.
- BACKHAUS, K., ERICKSON, B., PLINKE, W. & WEIBER, R. (1989): Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin.
- BAHRENBERG, G., GIESE, E. & NIPPER, J. (1985, 1992): Statistische Methoden in der Geographie. Band 1: Univariate und bivariate Statistik. Band 2: Multivariate Statistik. Stuttgart.
- BARLING, R. D., MOORE, I. D. & GRAYSON, R. B. (1994): A quasi - dynamic wetness index for characterizing the spatial distribution of zones of surface saturation and soil water content. Water Resources Research, **30**(4):1029-1044.
- BARSCHE, D. & DIKAU, R. (1989): Entwicklung einer digitalen geomorphologischen Basiskarte (DGmBK). GIS, **2**(3):12-18.
- BARSCHE, D. & LESER, H. (Hg.) (1987): Regionale Beispiele zur geomorphologischen Kartierung in verschiedenen Maßstäben (1:5.000 bis 1:200.000). Beiträge zum GMK - Schwerpunktprogramm VI. Berliner Geogr. Abh., **42**.
- BARSCHE, D. & RICHTER, G. (Hg.) (1983): Geowissenschaftliche Kartenwerke als Grundlage einer Erfassung des Naturraumpotentials. Forsch. zur Dt. Landeskunde, **220**. Trier.
- BARTELS, G. (1967): Geomorphologie des Hildesheimer Waldes. Göttinger Geogr. Abh., **41**.
- BATESON, G. (1990): Ökologie des Geistes. Frankfurt.
- BEISCH, T. (1998): Städtische Baum- und Grünflächeninformationssysteme – ein Beitrag zur stadtoökologischen Forschung. Göttingen, Univ. Diss.
- BIBUS, E. (1989): Die Auswirkung quartärer Formungsdynamik auf Relief und Standort in der Gäulandschaft des Neckar-Enz-Gebietes. Frankfurter Geowiss. Arb., Serie D, **10**:69-83. In: Beiträge zum Thema Relief, Boden, Gestein. Arno Semmel zu seinem 60. Geburtstag.
- BIEBERSTEIN, K. & KRANZ, K. (1995): Das forstliche geographische Informationssystem Sachsens. GIS, **7**(5):2-8.
- BIEDERBICK, K.-H. (1992): Die direkte Sonnenstrahlung als Standortfaktor. Forstarchiv, **63**:131-136.
- BILL, R. & FRITSCH, D. (1999): Grundlagen der Geo-Informationssysteme. Band 2: Analysen, Anwendungen und neue Entwicklungen. Karlsruhe.
- BITTER, A. W. (1990): EDV-gestützte Unternehmensführung im Forstbetrieb mit Hilfe eines flächenbezogenen Betriebsinformationssystems. Göttingen, Univ. Diss.
- BLEDSE, B. P. & WATSON, C. C. (2001): Logistic analysis of channel pattern thresholds: meandering, braiding, and incising. Geomorphology, **38**, 281-300.
- BLENK, M. (1960): Morphologie des nordwestlichen Harzes und seines Vorlandes. Göttinger Geogr. Abh., **24**.

- BÖCKMANN, T. (2002): Langfristige ökologische Waldentwicklung in den Niedersächsischen Landesforsten; Richtlinie zur Baumartenwahl. Unveröffentl. Arbeitspapier des Niedersächsischen Forstplanungsamtes. Wolfenbüttel.
- BÖCKMANN, T. & HÜSING, F. (1999): Weiserflächenkonzeption in der Niedersächsischen Landesforstverwaltung. *Forst und Holz*, **54**:299-302.
- BÖHNER, J. & KÖTHE, R. & TRACHINOW, C. (1997): Weiterentwicklung der automatischen Reliefanalyse auf der Basis von digitalen Geländemodellen. *Göttinger Geogr. Abh.*, **100**:3-21.
- BOESS, J. & KUES, J. (1987): Das Bodenkataster von Niedersachsen - ein Bodeninformationssystem für den Umwelt- und Bodenschutz. *Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges.*, **53**:119-122.
- BOESS, J., MÜLLER, U. & SBRESNY, J. (1999): Erläuterungen zur digitalen Bodenkundlichen Übersichtskarte 1:50.000 (BÜK50) von Niedersachsen. In: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (Hg.): *Bodenübersichtskarten von Niedersachsen. Arbeitshefte Boden*, **1999/1**:3-60.
- BOMBIEN, H. & STOLZ, W. (1993): Die digitale Erfassung und Speicherung geologischer Flächendaten im Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS). *Geol. Jb. Reihe F.*, **27**:123-144.
- BORKOWSKI, A. & MEYER, S. (1994): Ein Verfahren zur Schätzung der Rasterweite für digitale Höhenmodelle aus topographischen Karten. *GIS*, **7**(1):2-5.
- BRÄNDLI, M. (1997): Modelle und Algorithmen für die Extraktion geomorphologischer und hydrologischer Objekte aus digitalen Geländemodellen. *Geoprocessing-Reihe*, **32**. 176 S.
- BRÄUNIG, A. (2000): Entwicklung forstlich rekultivierter sowie renaturierter Böden und Simulation ihres Wasserhaushaltes in der Mitteldeutschen Braunkohlen-Bergbaufolgelandschaft. Freiberg, Univ. Diss.
- BROSCHKE, H.-U. (1968): Struktur- und Skulpturformen im nördlichen und nordwestlichen Harzvorland. *Göttinger Geogr. Abh.* **45**.
- BRUNOTTE, E., GARLEFF, K. & JORDAN, H. (1985): Die geomorphologische Übersichtskarte 1:50.000 zu Blatt 4325 Nörten-Hardenberg der Geologischen Karte von Niedersachsen 1:25.000. *Z. Dt. Geolog. Ges.*, **136**:277-285.
- BRUNOTTE, E. & GARLEFF, K. (1989): Structural landforms and planation surfaces in Southern Lower Saxony. *Catena Suppl.-Bd.*, **15**:151-164.
- BURROUGH, P. A. (1986): Principles of geographical information systems for land resources assessment. *Monographs on Soil and Resources Survey*, **12**. Oxford.
- BURROUGH, P. A. & MCDONNELL, R. A. (1998): Principles of geographical information systems. Spatial information systems and geostatistics. Oxford.
- CARTER, R. E., MACKENZIE, M. D. & GJERSTAD, D. H. (1999): Ecological land classification in the Southern Loam Hills of South Alabama. *Forest Ecology and Management*, **114**(2-3):395-404.
- CONGALTON, R. G. & GREEN, K. (1999): Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices. Boca Raton.
- DAVIS, T. J. & KELLER, P. (1997): Modelling and visualizing multiple spatial uncertainties. *Computers & Geosciences*, **23**:397-408.
- DEICHSEL, G. & TRAMPISCH, H. J. (1985): Clusteranalyse und Diskriminanzanalyse. Stuttgart.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1980-1989): Deutsches Meteorologisches Jahrbuch. Offenbach.
- DEUTSCHMANN, G. (1994): Zustand und Entwicklung der Versauerung des Bodens und des oberflächennahen Buntsandsteinuntergrundes eines Waldökosystems im Solling. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe A* **118**. Göttingen.
- DIELER, S., OSTMANN, U., SCHAAB, G. & STEININGER, A. (1995): Die Einbindung eines GIS in das NIBIS. *Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges.*, **76**:1005-1008.
- DIKAU, R. (1988): Entwurf einer geomorphologisch - analytischen Systematik von Reliefeinheiten. *Heidelberger Geogr. Bausteine, N.F.*, **5**:1-45.
- DIKAU, R. (1989): The application of a digital relief model to landform analysis in geomorphology. In: RAPER, J. (Hg.): *Three dimensional applications in geographic information systems*. S. 51-77.
- DIKAU, R. & SCHMIDT, J. (1999): Georeliefklassifikation. In: SCHNEIDER-SLIWA, R., SCHAUB, D. & GEROLD, G. (Hg.): *Angewandte Landschaftsökologie. Grundlagen und Methoden*. S. 217-244.
- DÖRKEN, J. & RÜCKER, G. (2001): Welche Faktoren wirken auf den Wald? *Geodatenserver für die forstliche Standortserkundung. ArcAktuell*, **2/2001**:18-19.
- DOZIER, J. & FREW, J. (1990): Rapid calculation of terrain parameters for radiation modeling from digital elevation data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **28**(5):963-969.
- DRISCOLL, R. S. (1964): Vegetation-soil units in the central Oregon Juniper zone. U.S. Forest Service Res. Paper PNW-19.
- DÜNKEL, H. (1992): Stratigraphie, Petrographie und Fazies des Mittleren Muschelkalks in Südostniedersachsen im Vergleich mit den angrenzenden Gebieten (Nordhessen, Nordrhein-Westfalen und Thüringen). Göttingen, Univ. Diss.

- DUNN, M. & HICKEY, R. (1998): The effect of slope algorithms on slope estimates within a GIS. *Cartography*, **27**:9-15.
- DUTTMANN, R. (1999): Geographische Informationssysteme (GIS) und raumbezogene Prozeßmodellierung in der Angewandten Landschaftsökologie. In: SCHNEIDER-SLIWA, R., SCHAUB, D. & GEROLD, G. (Hg.): *Angewandte Landschaftsökologie. Grundlagen und Methoden*. S. 181-199.
- DUTTMANN, R. (2001): Bodenfeuchte als Steuergröße der Erosion. *Geogr. Rundsch.*, **53**(5):24-32.
- EBERL, C. (1984): Kartierungswerk zur Forstlichen Standortskartierung im Nds. FOA Bramwald. Niedersächsisches Forstplanungsamt, Wolfenbüttel. Unveröffentl.
- EBERL, C. (1986): Kartierungswerk zur Forstlichen Standortskartierung im Nds. FOA Seesen. Niedersächsisches Forstplanungsamt, Wolfenbüttel. Unveröffentl.
- EBERL, C. (1998): Quantifizierung und Bewertung von Merkmalen forstlicher Standortstypen durch ökochemische Parameter im Westharz. *Ber. des Forschungszentrums Waldökosysteme*, **A 151**.
- EBERL, C. (1998-2002): Mündliche Mitteilungen zur Forstlichen Standortskartierung in Niedersachsen.
- EBERL, C. & STÜBER, V. (1998): Gutachterliche Umsetzung der Nährstoffkennzahlen der Niedersächsischen Forstlichen Standortskartierung. Unveröffentl.
- EBNER, H. (1992): Digital terrain models and their applications. *GIS*, **5**(3):27-30.
- ECKSTEIN, S. (1996): Integration von forstlichen Geometrie- und Sachdaten mit ARC/Info und ORACLE7. *ESRI - 4. Deutsche ARC/Info Anwenderkonferenz*, **4**:45-53. Kranzberg.
- EIDMANN, F. E. (1957): Grundsätze und Organisation der forstlichen Standortskartierung in den öffentlichen Waldungen Nordrhein - Westfalens. *AFJZ*, Jg. 4, **128**:65-68.
- EIMERN, J. VAN & HÄCKEL, H. (1984): *Wetter - und Klimakunde für Landwirte, Gärtner, Winzer und Landschaftspfleger*. Stuttgart.
- EITEL, B. (1999): *Bodengeographie. Das Geographische Seminar*. Braunschweig.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI) (1991, 1999): *ARC/Info User's Guide*.
- ERB, W.-D. (1990): Anwendungsmöglichkeiten der linearen Diskriminanzanalyse in Geographie und Regionalwissenschaft. *Schriften des Zentrums für regionale Entwicklungsforschung der Justus-Liebig- Univ. Gießen*, **39**.
- EVANS, I. S. (1980): An integrated system of terrain analysis and slope mapping. *Z. f. Geomorph., N.F., Suppl.-Bd.*, **36**:274-295.
- FAHRMEIR, L. & HAMERLE, A. (Hg.) (1984): *Multivariate statistische Verfahren*. Berlin.
- FEZER, F. (1953): Schuttdecken, Blockmassen und Talformen im nördlichen Schwarzwald. *Göttinger Geogr. Abh.*, **14**:1-34.
- FINNERN, H. (1987): Die bodenkundliche Kartierung in der Bundesrepublik als Grundlage für ein Bodeninformationssystem. *Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges.*, **53**:151-160.
- FLEMMING, G. (1990): *Klima - Umwelt - Mensch*. Jena.
- FLORINSKY, I. V. & KURYAKOVA, G. A. (2000): Determination of grid size für digital terrain modelling in landscape investigations – exemplified by soil moisture distribution. *Int. J. Geographical Information Science*, **14**(8):815-832.
- FLURY, B. & RIEDWYL, H. (1983): *Angewandte multivariate Statistik*. Stuttgart.
- FRIEDRICH, C., FOHRER, N. & FREDE, H.-G. (1999): Ableitung bodenphysikalischer Parameter auf Basis der hessischen forstlichen Standortskartierung. *Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges.*, **91**:1205-1208.
- FRIEDRICH, K. (1996): Digitale Reliefgliederungsverfahren zur Ableitung bodenkundlich relevanter Flächeneinheiten. *Frankfurter Geowiss. Arb.*, **D 21**.
- FRIEDRICH, K. (1998): Multivariate distance methods for geomorphographic relief classification. *European Soil Bureau Research Report*, **4**:259-266.
- FRITSCH, D. (1995): Ableitung digitaler Geländemodelle aus MOMS02/D2-Bilddaten - erste Ergebnisse. *GIS*, **8**(2):13-20.
- GALLANT, J. C. & WILSON, J. P. (1996): TAPES-G: A grid - based terrain analysis program for the environmental science. *Computers and Geosciences*, **22**(7):713-722.
- GARDNER, T. W., SASOWSKY, K. & DAY, R. (1990): Automated extraction of geomorphometric properties from digital elevation data. *Z. Geomorph. N.F., Suppl.-Bd.*, **80**:57-68.
- GAUER, J. & RIEGER, H. (1990): Standortserkundung als Grundlage forstlichen Handelns. *AFZ / Der Wald* **42**:1075-1077.
- GEHRT, E. & SBRESNY, J. (1999): Erläuterungen zur Ableitung und den Inhalten der Bodenübersichtskarten 1:200.000 (BÜK200) und 1:500.000 (BÜK 500) von Niedersachsen. In: Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung (Hg.): *Bodenübersichtskarten von Niedersachsen. Arbeitshefte Boden*, **1999/1**:61-98.
- GEIGER, R. (1961): *Das Klima der bodennahen Luftschicht*. 4. Aufl., Braunschweig.

- GEIGER, R., ARON, R. H. & TODTHUNTER P. (1995): The climate near the ground. 5. Aufl., Braunschweig.
- GEROLD, G. (1999): Regionalisierung und upscaling des Wasserumsatzes in Einzugsgebieten. In: STEINHARDT, U. & VOLK, M. (Hg.): Regionalisierung in der Landschaftsökologie. S. 79-95. Leipzig.
- GESSLER, P. E., MOORE, I. D., MCKENZIE, N. J. & RYAN, P. J. (1995): Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes. *Int. J. Geogr. Inf. Systems*, **9**(4):421-432.
- GIAMBONI, M. & DÖBELI, C. (1997): Typisierung und flächenhafte Erfassung von Bodenfeuchteregimen anhand einer landschaftsökologischen Methode. *Die Erde*, **128**:251-262.
- GOEDEKE, R. (1965): Die Oberflächenformen des Elm. *Göttinger Geogr. Abh.*, **35**.
- GÖS (1995, 1997, 2000), siehe NIEDERSÄCHSISCHES FORSTPLANUNGSAMT.
- GÖRGES, H. (1969): Forstliche Wuchsbezirke in Niedersachsen. *Neues Archiv f. Nieders.*, **1/18**:27-45.
- GRIMM, F. (1961): [Erwähnt in HORMANN (1971), dort aber nicht in der Literatur aufgeführt].
- GROETZNER, J.-P. & MUTTERLOSE, J. (1980): Geologische Wanderwege in der Grafschaft Schaumburg. Heimatbund der Grafschaft Schaumburg. Rinteln.
- GÜSSEFELDT, J. & SAURER, H. (1991): Die Ableitung von Relieftypen aus digitalen Höhenmodellen. *Freiburger Geogr. Hefte*, **34**:119-140.
- HAASE, G., DIEMANN, R., MANNSFELD, K. & SCHLÜTER, H. (1985): Richtlinie für die Bildung und Kennzeichnung der Kartierungseinheiten der „Naturraumtypen-Karte der DDR im mittleren Maßstab“. *Wiss. Mitt. d. Inst. für Geographie u. Geoökologie der Akad. d. Wissenschaften d. DDR, Sonderheft 3*.
- HABERL, A. (2001): Bodenschonende Holzernte auf Problemstandorten. Aufarbeitungskonzepte für Standorte mit Wasserüberschuss. *AFZ / Der Wald*, **56**(11):584-589.
- HAGEDORN, J., BRUNOTTE, E. & SCHRÖDER, E. (1972): Das Kuppenrelief und Felsformen im Bausandstein der Reinhäuser Waldes (südöstlich von Göttingen). *Göttinger Geogr. Abh.*, **60**:203-219.
- HAGEDORN, J. & LEHMEIER, F. (1983): Zur Konzeption der geomorphologischen Karte 1:25.000 (GMK25) aufgrund von Kartierungserfahrungen im niedersächsischen Bergland. In: BARSCH, D. & RICHTER, G. (Hg.): *Geowissenschaftliche Kartenwerke als Grundlage der Erfassung des Naturraumpotentials*. *Forsch. zur Dt. Landeskunde*, **220**:63-81. Trier.
- HARGROVE, W. & LUXMOORE, R.-J. (1997): A spatial clustering technique for the identification of customizable ecoregions. www.esri.com/library/userconf/proc97.
- HEIDBRINK, K. (2000): Module für die Erstellung digitaler Bodenbelastungskarten in kommunalen Umweltinformationssystemen. *Kartogr. Nachr.*, **3**:119-125.
- HELVEY, J. D., HEWLETT, J. D. & DOUGLAS, J. E. (1972): Predicting soil moisture in the Southern Appalachians. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* **36**:954-959.
- HENTSCHEL, S. (1999): Funktionenbezogene Optimierung der Walderschliessung im Göttinger Stadtwald unter Einsatz geographischer Informationssysteme. Göttingen, Univ. Diss.
- HERRMANN, A. (1968): *Geol. Karte von Niedersachsen 1:25.000, Erl. Blatt 4324 Hardegsen*. Hannover.
- HERRMANN, A. (1974): *Geol. Karte von Niedersachsen 1:25.000, Erl. Blatt 4223 Sievershausen*. Hannover.
- HERRMANN, R. (1974): Ein Anwendungsversuch der mehrdimensionalen Diskriminanzanalyse auf die Abflußvorhersage. *Catena*, **1**:367-385.
- HESSISCHE FORSTEINRICHTUNGSANSTALT GIEßEN (1985): Hessische Anweisung für Forsteinrichtungsarbeiten (HAFEA). *Staatsanzeiger für das Land Hessen*, **32**. Wiesbaden.
- HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR FORSTEINRICHTUNG, WALDFORSCHUNG UND WALDÖKOLOGIE (HLFWW) (2001): *Jahresbericht Abteilung Forstliches Informationssystem – Betriebswirtschaft*. Jahresberichte 1998, 1999, 2000. Gießen.
- HILDEBRAND, E. E. (1983): Der Einfluß der Bodenverdichtung auf die Bodenfunktion im forstlichen Standort. *Forstwiss. Centralbl.*, **2/102**, 111-125.
- HINZE, C. (1976): *Geol. Karte von Niedersachsen 1:25.000, Erl. Blatt 4127 Seesen*. Hannover.
- HINZE, C. (1983): Die geologische Karte von Niedersachsen 1:25.000 (GK25) – Aktuelle Aufnahme- und Darstellungsverfahren vielschichtiger Überlagerungen. In: BARSCH, D. & RICHTER, G. (Hg.): *Geowissenschaftliche Kartenwerke als Grundlage der Erfassung des Naturraumpotentials*. *Forsch. zur Dt. Landeskunde*, **220**:11-26. Trier.
- HÖHNE, A. (1996): Entwicklung und Aufbau des geographischen Informationssystems der LFV Baden-Württemberg (FOGIS). *AFZ / Der Wald*, **51**(10):535-538.
- HÖVELMANN, T. (1999-2002): Mündliche Mitteilungen zur Forstl. Standortskartierung in Niedersachsen.
- HÖVERMANN, J. (1963): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 99 Göttingen. *Geogr. Landesaufnahme 1:200.000*, **99**. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung (Bonn).

- HOFFMANN, B. (2001): Untersuchungen zum Monitoring von Naturwäldern mit Hilfe von Geo-Informationssystemen, modernen Luftbilddauswertungsverfahren und Geostatistik dargestellt am Beispiel des nordrhein-westfälischen Naturwaldreservats Hellerberg. Göttingen, Univ. Diss.
- HOFFMANN, D. (1977): Der forstliche Standort im Forsteinrichtungsverfahren von Rheinland-Pfalz. *AFZ*, **32**:598-600.
- HOFRICHTER, E. (1976): Geol. Karte von Niedersachsen 1:25.000, Erl. Blatt 4224 Lauenberg. Hannover.
- HORMANN, K. (1971): Morphometrie der Erdoberfläche. *Schr. Geogr. Inst. Univ. Kiel*, **36**.
- HUBER, M. (1994): The digital geo - ecological map: Concepts, GIS - methods and case studies. *Physiogeographica*, **20**.
- HUBERTY, C. J. (1994): Applied discriminant analysis. Wiley series in probability and mathematical statistics. New York.
- HUTTO, C. J., SHELburne, V. B. & JONES, S. M. (1999): Preliminary ecological land classification of the Chauga Ridges Region of South Carolina. *Forest Ecology and Management*, **114**(2-3):385-393.
- JACKSON, I. & ASCH, K. (2002): The status of digital geological mapping in Europe: The results of a census of the digital mapping coverage, approaches and standards of 29 European geological survey organisations in the year 2000. *Computers & Geosciences*, **28**(6):783-788.
- JAEGER, D. (1995): Planung und Bewertung von Baumaßnahmen in der freien Landschaft unter Einsatz geographischer Informationssysteme und computergestützter interaktiver Planungsmethoden (CAD) am Beispiel der integrierten Erschließungs- und Projektplanung von Waldwegen. Göttingen, Univ. Diss.
- JAHN, R. (1933): Ergebnisse einer forstlich-bodenkundlichen Kartierung im Westthüringischen Buntsandsteingebiet. *Forstwiss. Centralbl.*, **55**(9):302-313.
- JORDAN, H. (1976): Geol. Karte von Niedersachsen 1:25.000, Erl. Blatt 4227 Osterode. Hannover.
- JORDAN, H. (1986): Geol. Karte von Niedersachsen 1:25.000, Erl. Blatt 4225 Northeim-West. Hannover.
- JORDAN, H. (1994): Geol. Karte von Niedersachsen 1:25.000, Erl. Blatt 4024 Alfeld. Hannover.
- KARRASCH, H. (1970): Das Phänomen der klimabedingten Reliefasymmetrie in Mitteleuropa. *Göttinger Geogr. Abh.*, **56**.
- KLECKA, W. R. (1980): Discriminant analysis. Sage university papers. Series: Quantitative applications in social sciences. Beverly Hills.
- KLEEFISCH, B. & KÖTHE, R. (1993): Wege zur rechnergestützten bodenkundlichen Interpretation digitaler Reliefdaten. *Geol. Jb., Reihe F*, **27**:59-122.
- KNAUFT, F. J. (2000): Entwicklung von Methoden zur GIS-gestützten Visualisierung von Waldentwicklungsszenarien. Göttingen, Univ. Diss.
- KÖTHE, R. & LEHMEIER, F. (1991): "Digitale Reliefanalyse" - Ein Projekt zur geomorphologischen Auswertung digitaler Geländemodelle (DGM). *Freiburger Geogr. Hefte*, **34**:99-109.
- KÖTHE, R. & LEHMEIER, F. (1993): SARA - ein System zur automatischen Reliefanalyse. *Standort*, **4**:11-21.
- KOHLER, M. (2002): Der Beitrag des Bodenskeletts zur Waldernährung. Vortrag an der Fakultät f. Forstwissenschaften und Waldökologie Göttingen am 26.11.02.
- KONITZER, A. (2000): Waldumbaumaßnahmen und ihre betriebswirtschaftlichen Auswirkungen – eine GIS-gestützte Untersuchung am Beispiel des niedersächsischen Harzes. Göttingen, Univ. Diss.
- KOPP, D. & SCHWANECKE, W. (1994): Standortliche naturräumliche Grundlagen ökologiegerechter Forstwirtschaft. Grundzüge von Verfahren und Ergebnissen der forstlichen Standortserkundung in den fünf ostdeutschen Bundesländern. Berlin.
- KOPSTAHL, E. (1992): ATKIS-DLM 25/1: Allgemeine Erfahrungen und Erkenntnisse. *Nachr. d. nieders. Vermessungs- und Katasterverwaltung*, **42**(3):118-120.
- KRANZ, K. (2000): Aufbau und Herstellung des Forstkartenwerkes in Sachsen. *AFZ / Der Wald*, **55**(1):14-17.
- KRASEMANN, H.-U. (1954): Zeigt die im Harz weit verbreitet anstehende Grauwacke und ihr Verwitterungsprodukt Unterschiede, die für die forstliche Planung von Bedeutung sind? Göttingen, Univ. Diss.
- KRATZ, G. & SUHLING, F. (Hg.) (1997): GIS im Naturschutz. Forschung, Planung, Praxis. Magdeburg.
- KRAUS, K. & PFEIFER, N. (1998): Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *Photogrammetry & Remote Sensing*, **53**:193-203.
- KRAUß, G. H. (1936): Aufgaben der Standortkunde. *Jahresbericht des Dt. Forstvereins*, S. 319-329.
- KREMSEr, W. & OTTO, H.-J. (1973): Grundlagen für die langfristige regionale waldbauliche Planung in den niedersächsischen Landesforsten. *Aus dem Walde*, **20**.
- KÜTING, K. & WEBER, C. P. (1994): Die Bilanzanalyse. Stuttgart.
- KUGLER, H. (1964): Die geomorphologische Reliefanalyse als Grundlage großmaßstäblicher geomorphologischer Kartierung. *Wiss. Veröff. d. Dt. Instituts f. Landeskunde, N.F.* **21/22**:541-655.

- KUNDERT, K. (1988): Untersuchungen zur automatischen Klassifikation von räumlichen Einheiten. Geoprocessing-Reihe, **7**. Zürich.
- LANG, R., MÜLLER, A. & LENZ, R. (1993): Bestimmung der flächigen Aussageschärfe von Hangneigungs- und Standortkarten. GIS, **8**(6):24-29.
- LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT THÜRINGEN (LWF) (2001): Jahresbericht 1999/2000. Gotha.
- LEHMEIER, F. (1981a): Regionale Geomorphologie des nördlichen Ith - Hils - Berglandes auf der Basis einer großmaßstäbigen geomorphologischen Kartierung. Göttinger Geogr. Abh., **77**.
- LEHMEIER, F. (1981b): Erläuterungen zur geomorphologischen Karte 1:25.000 der Bundesrepublik Deutschland, GMK25, Blatt 7, 3923 Salzhemmendorf. Berlin.
- LEHMEIER, F. (1991): Vergleichende Zusammenstellung der digitalen Geländemodelle (DGM) der deutschen Bundesländer (Stand 1990/91). Freiburger Geogr. Hefte, **34**:77-80.
- LEHMEIER, F. & KÖTHE, R. (1992): Geomorphological data as a component of a geoscientific information system. Geol. Jb., Reihe A, **122**:371-380.
- LENZ, R. (1999): Mittelmaßstäbige Raumbewertungen. In: SCHNEIDER-SLIWA, R., SCHAUB, D. & GEROLD, G. (Hg.): Angewandte Landschaftsökologie. Grundlagen und Methoden. S. 151-168.
- LEPPER, J. (1976): Geol. Karte Nordrhein-Westfalen 1:25.000, Erl. Blatt 4322 Karlshafen. Krefeld.
- LEPPER, J. (1977): Geol. Karte von Niedersachsen 1:25.000, Erl. Blatt 4323 Uslar. Hannover.
- LESER, H. (1974): Geomorphologische Karten im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland nach 1945 (II. Teil). Zugleich ein Bericht über die Aktivitäten des Arbeitskreises „Geomorphologische Karte der BRD“. Catena, **1**:297-326.
- LESER, H. (1980): Die Wölbung in der geomorphologischen Karte. Kartogr. Nachr., **30**:11-24.
- LESER, H. & KLINK, H.-J. (Hg.) (1988): Handbuch und Kartieranleitung Geoökologische Karte 1:25.000 (KA GÖK 25). Forschungen zur Dt. Landeskunde, **228**. Trier.
- LESER, H. & STÄBLEIN, G. (1975): Geomorphologische Kartierung. Richtlinien zur Erstellung geomorphologischer Karten 1:25.000. Berliner Geogr. Abh., Sonderheft.
- LIEDTKE, H. (1984): Geomorphological mapping in the Federal Republic of Germany at scales 1:25.000 and 1:100.000 – a priority program supported by the German Research Foundation. Bochumer Geogr. Arb., **44**:67-73.
- LIEDTKE, H. (Hg.) (1988): Untersuchungen zur Geomorphologie der Bundesrepublik Deutschland - Neue Ergebnisse der geomorphologischen Kartierung. Beiträge zum GMK - Schwerpunktprogramm VIII. Berliner Geogr. Abh., **47**.
- LÜPKE, B. VON (1992): Waldbau ohne Kahlschlag – Möglichkeiten und Risiken. Forstarchiv, **63**:10-15.
- LUNDERSTÄDT, J. (1992): Stand der Ursachenforschung zum Buchensterben. Forstarchiv, **63**:21-24.
- MÄUSBACHER, R. (1985): Die Verwendbarkeit der geomorphologischen Karte 1:25.000 (GMK25) der Bundesrepublik Deutschland für Nachbarwissenschaften und Planung. Beiträge zum GMK - Schwerpunktprogramm V. Berliner Geogr. Abh., **40**.
- MALBERG, H. (1994): Meteorologie und Klimatologie. Eine Einführung. Berlin.
- MARINELL, G. (1977): Multivariate Verfahren. Eine Einführung für Studierende und Praktiker. München.
- MCKENZIE, N. J. & RYAN, P. J. (1999): Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. Geoderma **89**:67-94.
- MCNAB, W. H. (1993): A topographic index to quantify the effect of mesoscale landform on site productivity. Can. J. For. Res., **23**:1100-1107.
- MCNAB, W. H., BROWNING, S. A., SIMON, S. A. & FOUTS, P. E. (1999): An unconventional approach to ecosystem unit classification in western North Carolina, USA. Forest Ecology and Management, **114**(2-3):405-420.
- MEIER, S. & ENDLICH, M. (1995): Von der topographischen Karte zum digitalen Geländemodell - Schätzwerte für landschaftsgebundene Rasterweiten. GIS, **8**(6):10-13.
- MEIWES, K. J., WACHTER, H., SCHULZE, A. & EBERL, C. (1997): Datenhaltung und -auswertung in der Fachdatenbank „Boden“ des Niedersächsischen Forstlichen Informationssystems (NIFIS). Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges., **85 II**:971-972.
- MENTING, G. (2001): Geoökosystemforschung aufs Abstellgleis? Geogr. Rundsch. **53**(3):60-61.
- MERKEL, B. (1992): Modellierung der Verwitterung carbonatischer Gesteine. Berichte des Geologisch-Paläontologischen Instituts und Museums der Univ. Kiel, **55**.
- MEYER, K.-D. (1983): Die geologische Übersichtskarte 1:200.000 (GÜK 200) unter besonderer Berücksichtigung Niedersachsens – Methodik und Inhalt. In: BARSCH, D. & RICHTER, G. (Hg.): Geowissenschaftliche Kartenwerke als Grundlage der Erfassung des Naturraumpotentials. Forsch. zur Dt. Landeskunde, **220**:27-42. Trier.

- MÖLLER, M. (2001): Verfahren der digitalen Reliefanalyse und Satellitenbilddauswertung für die Bodenkartierung des Zielmaßstabes 1:50.000 am Beispiel des Blattes Könnern. Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **2001(2)**:91-105.
- MOERS, C. & GEHRT, E. (1991): Untersuchungen zum bodenkundlichen Informationsgehalt forstlicher Standortskarten. Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges., **66/II**:823-826.
- MOORE, I. D., O'LOUGHLIN, E. M. & BURCH, G. J. (1988): A contour - based topographic model for hydrological and ecological applications. Earth Surface Processes and Landforms, **13**:305-320.
- MOORE, I. D., GRAYSON, R. B. & LADSON, A. R. (1991): Digital terrain modelling: A review of hydrological, geomorphological and biological applications. Hydrological Processes, **5**:3-30.
- MOORE, I. D., GESSLER, P. E., NIELSEN, G. A. & PETERSON, G. A. (1993): Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Sci. Soc. Am. J., **57**:443-452.
- MORGEN, A. (1957): Die Besonnung und ihre Verminderung durch Horizontbegrenzung. Veröffentl. des Meteorolog. und Hydrolog. Dienstes der DDR, **12**:3-16.
- MOSIMANN, T. (1984): Methodische Grundprinzipien für die Untersuchung von Geoökosystemen in der topologischen Dimension. Geomethodica, **9**:31-65.
- MOSIMANN, T. (2002): Modellierung des Landschaftshaushaltes. Geogr. Rundsch., **54(5)**:45-50.
- MÜLLER, E.-H. (1956): Die Bodenkartierung zum Zwecke der forstlichen Standortskartierung in Nordrhein-Westfalen. AFJZ **127**:157-164.
- MUES, V. (2000): GIS-gestützte Regionalisierung von Klima- und Depositionsdaten in Niedersachsen. Göttingen, Univ. Diss.
- MURAWSKI, H. (1983): Geologisches Wörterbuch. Stuttgart.
- MURSCHEL, B. & LIEBEMANN, K.-H. (1995): Automatische Reliefanalyse zur Ableitung räumlicher Bodeninformation aus der Bodenübersichtskarte. Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges., **76**:1153-1156.
- MYSIAK, J. (2001): Räumliche Entscheidungsfindung mit Hilfe raumbezogener Informationssysteme. Göttingen, Univ. Diss.
- NIEDERSÄCHSISCHES FORSTPLANUNGSAMT (NFP) (1996): Karte der Wuchsbezirke und Wuchsgebiete Niedersachsens. Wolfenbüttel.
- NIEDERSÄCHSISCHES FORSTPLANUNGSAMT (NFP) (1995, 1997, 2000): Forstliche Standortaufnahme – Geländeökologischer Schätzrahmen – Anwendungsbereich: Mittelgebirge, Bergland und Hügelland. Arbeitsintern „GÖS“. Unveröffentl., Wolfenbüttel.
- NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR BODENFORSCHUNG (NLFB) (Hg.) (1989): Erläuterungsheft zur digitalen bodenkundlichen Standortkarte von Niedersachsen und Bremen 1:200.000 (BSK200) und ihren Auswertungsmöglichkeiten. Redaktion: BOESS, J. & MÜLLER, U.
- NIEDERSÄCHSISCHES MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN (NMELF) (Hg.) (1992): Umweltschonender Maschineneinsatz. Merkblatt Nr. **28**. Hannover.
- NIESCHULZ, K.-P. (1997): Mathematisch-bodenkundliche Regionalisierung des Bodenwasserhaushalts. Landschaftsökologie und Umweltforschung, **27**.
- OELKERS, K.-H., SCHIMPF, U. & LÜDERS, R. (1983): Analyse eines Arbeitsflusses zur DV-technisch gestützten Herstellung von Bodenkarten. Geol. Jb, Reihe A, **70**:87-101.
- OLSETH, J. A. & SKARTVEIT, A. (1997): Spatial distribution of photosynthetically active radiation over complex topography. Agricultural and Forest Meteorology, **86**:205-214.
- OTTO, H.-J. (1989): Langfristige, ökologische Waldbauplanung für die Niedersächsischen Landesforsten. A. Allgemeiner Teil, B. Spezieller Teil: Das niedersächsische Flachland. Aus dem Walde, **42**. Hannover.
- OTTO, H.-J. (1991): Langfristige, ökologische Waldbauplanung für die Niedersächsischen Landesforsten. C. Spezieller Teil: Das niedersächsische Bergland. Aus dem Walde, **43**. Hannover.
- OTTO, H.-J. (1999): Naturnaher Waldbau erfordert optimale Planungsgrundlagen. Forst und Holz, **54**:290.
- PAMPE, A. (1997): Kartierungswerk zur Forstlichen Standortskartierung im Nds. FOA Lautenthal (Harz). Niedersächsisches Forstplanungsamt, Wolfenbüttel. Unveröffentl.
- PAMPE, A. (1998): Standortskartierung im Harz. Exkursion am 28.05.1998. Unveröffentl. Exkursionsunterlagen. Niedersächsisches Forstplanungsamt, Wolfenbüttel.
- PFEIL, W. (1856): Was wollen und können wir durch die Wirtschaftseinrichtung und nachhaltige Ertragsberechnung eines Waldes erreichen? Kritische Blätter f. Forst- und Jagdwiss., **38(2)**:151-178.
- PREGITZER, K. S. & BARNES, B. V. (1984): Classification and comparison of upland hardwood and conifer ecosystems of the Cyrus H. McCormick experimental forest, upper Michigan.
- PREUSS, H., VINKEN, R. & VOSS, H.-H. (1991): Symbolschlüssel Geologie: Symbole für die Dokumentation und automatische Datenverarbeitung -ADV- geologischer Feld- und Aufschlußdaten. Zusammengestellt v. d. Arbeitsgruppe ADV-Geologie im NLfB Hannover.

- PRIESNITZ, K. (1972): Formen, Prozesse und Faktoren der Verkarstung und Mineralumbildung im Ausstrich salinärer Serien. Göttinger Geogr. Abh., **60**:317-340.
- RADBERGER, R. (2001): Räumlich-statistische Modellierung der Landnutzungsänderung im Großraum Istanbul. GIS, **3**:42-47.
- REHFUESS, K. E. (1991): Waldböden - Entwicklung, Eigenschaften und Nutzung. Pareys Studentexte 29.
- REUTER, H. (2002): Diskussion zur Grid – Funktion *curvature* in der ESRI-ARC/Info-mail-Liste.
- RICHARDS, J. A. (1993): Remote sensing digital data analysis -an introduction-. Berlin.
- ROSENBERG, N. J. (1974): Microclimate: The biological environment. New York.
- RUCH, C. (1986): Tiefgründige Verwitterung und Materialeigenschaften verwitterter Schiefertone des Südwestdeutschen Braunen Jura bei unterschiedlichen Sand- und Karbonatgehalten. Tübingen, Univ. Diss.
- RUMP, H.-H., SYMADER, W. & HERRMANN, R. (1976): Mathematical modeling of water quality in small rivers (nutrients, pesticides and other chemical properties). Catena, **3**:1-16.
- SABELBERG, U. & ROHDENBURG, H. (1983): Zur Ableitung von Typenarealen aus bodenkundlichen und ökologischen Primärdaten als Grundlage einer EDV-gestützten Konstruktion forstbodenkundlicher und forststandortkundlicher Arealkarten. Geol. Jb., Reihe A, **70**:133-149.
- SANDER, J. (2000): Revier - PC nimmt Gestalt an! Waldinformation, **3/2000**:21. Hg.: Niedersächsisches Ministerium f. Ernährung, Landwirtschaft und Forsten.
- SANDNER, E. (2001): Die ältesten Standortskarten. Kartogr. Nachr. **1/2001**:21.
- SAS INSTITUTE INC. (1987): SAS/STAT. Guide for personal computers. 6. Aufl., Cary, NC.
- SBRESNY, J. (1997): Fehlerquellen in raumbezogenen Informationssystemen. Quantifizierung und Minimierung am Beispiel des Niedersächsischen Informationssystems. Geol. Jb., Reihe F, **33**.
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H.-P., HARTGE, K. H., SCHWERTMANN, U., BRÜMMER, G., & RINGER, M. (1984): Lehrbuch der Bodenkunde. Stuttgart.
- SCHENK, D. (1983): Auswirkung der Verwitterung auf Festigkeit und Mikrogefüge überkonsolidierter Tongesteine der Oberen Röt-Folge (Rhön). Kiel, Univ. Diss.
- SCHERHAG, R. & LAUER, W. (1982): Klimatologie. Braunschweig.
- SCHIMMER, E. R. (1985): Die Klassifizierung der Mergel des Ruhrgebietes aufgrund ihrer Festigkeit. Bochum, Univ. Diss.
- SCHMIDT, W. (2002): Die digitale Naturraumkarte Sachsen-Anhalts. AFZ / Der Wald, **56**(8):392-394.
- SCHNEIDER, U. (2000): Space Shuttle Endeavour kartiert Erde mit Radar. Geogr. Rundsch. **52**(5):59-60.
- SCHNEIDER-SLIWA, R., SCHAUB, D. & GEROLD, G. (Hg.) (1999): Angewandte Landschaftsökologie. Grundlagen und Methoden. Berlin.
- SCHNELLBÄCHER, H. J. (2000): Gemeinsame Sache. Forstverwaltungen entwickeln länderübergreifendes GIS. GeoBIT, **5**:26-27.
- SCHÖNEMEIER, J. (2001): Auskunft zu DHM-Daten d. Landesamtes für Geobasisinformation Hannover.
- SCHREY, H. P. (2001): Schutzwürdige Böden in Nordrhein-Westfalen – Stand und Entwicklung der Bewertung von Bodenfunktionen auf Basis der Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen im Maßstab 1:50.000. Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges., **95**:212-214.
- SCHULZ, G. (1991): Lexikon zur Bestimmung der Geländeformen in Karten. Berliner Geogr. Studien, **28**.
- SCHULZ, R. & ASCHE, N. (2000): Forstliche Standortkartierung in NRW. LÖBF-Mitteilungen (1):47-56.
- SCHULZ, R., MUES, V., JANSEN, M., JUDAS, M. & SABOROWSKI, J. (2002): Geomorphological and topoclimatic predictors derived from a DEM. In: JANSEN, M., JUDAS, M. & SABOROWSKI, J. (Hg.): Spatial modelling in forest ecology and management. S. 27-40. Berlin.
- SCHULZ, R. & JUDAS, M. (2002): Forecast classification for the mapping of forest site properties. In: JANSEN, M., JUDAS, M. & SABOROWSKI, J. (Hg.): Spatial modelling in forest ecology and management. S. 119-142. Berlin.
- SCHULZE, A., STÜBER, V., MEIWES, K.-J., HÖVELMANN, T. & WACHTER, H. (2000): Datenbanklösung zur Verwaltung von Profildaten der forstlichen Standortkartierung. Forst und Holz, **55**(4):110-113.
- SCHWIETERT, B. (1989): Geologie, Klima und Forststandorte des Harzes. AFZ / Der Wald, **41**(18-20):449-452.
- SEMMELE, A. (1983): Grundzüge der Bodengeographie. Stuttgart.
- SEMMELE, A. (1989): The importance of loess in the interpretation of geomorphological processes and for dating in the Federal Republic of Germany. In: AHNERT, F. (Hg.): Landforms and landform evolution in West Germany. Catena Suppl.-Bd., **15**:179-188.
- SIGGELKOW, D. (2000): Fazies und Sedimentologie der Grauen Tonsteinschichten (smST1) der Solling-Folge im südlichen Niedersachsen. Unveröffentl. Diplomarbeit am Fachbereich Geowiss. der Univ. Göttingen.

- SINOWSKI, W. & AUERSWALD, K. (1999): Using relief parameters in a discriminant analysis to stratify geological areas with different spatial variability of soil properties. *Geoderma*, **89**:113-128.
- SKIDMORE, A. K. (Hg.) (2002): *Environmental modelling with GIS and remote sensing*. London.
- SKIDMORE, A. K., RYAN, P. J., WARWICK, D., SHORT, D. & O'LOUGHLIN, E. M. (1991): Use of an expert system to map forest soils from a geographical information system. *Int. J. Geogr. Inf. Systems*, **5**(4):431-445.
- SPÖNEMANN, J. (1966): Geomorphologische Untersuchungen an Schichtkämmen des Niedersächsischen Berglandes. *Göttinger Geogr. Abh.*, **36**.
- SPÖNEMANN, J. (1970): Die naturräumlichen Einheiten auf Blatt 100 Halberstadt. *Geogr. Landesaufnahme 1:200.000*, **100**.
- SPORS, H.-J. (1996): Aufbau und Anwendungsmöglichkeiten eines raumbezogenen forstlichen Informationssystems. *LÖBF-Schriftenreihe*, **7**.
- SPORS, H.-J., STOCK, R. & SLOBODA, B. (1992): Räumliche Informationssysteme als Entscheidungsbasis für die forstliche Praxis. *Forstarchiv*, **63**:33-39.
- STÄBLEIN, G. (Hg.) (1980): Geomorphologische Detailaufnahme. Beiträge zum GMK - Schwerpunktprogramm I. *Berliner Geogr. Abh.*, **30**.
- STAHR, K. (1979): Die Bedeutung periglazialer Deckschichten für Bodenbildung und Standortseigenschaften im Südschwarzwald. *Freiburger Bodenkundl. Abh.*, **9**.
- STEIN, C. (1975): Studien zur quartären Talbildung in Kalk- und Sandsteinen des Leine-Weser-Berglandes. *Göttinger Geogr. Abh.*, **64**, 131 S.
- STEIN, J. (1998): Diskussionsbeitrag in der ESRI-ARC/Info-mail-Liste am 2.5.1998.
- STEININGER, A. (1995): Die GIS - Komponente im Niedersächsischen Bodeninformationssystem (NIBIS). *ESRI - 3. Deutsche ARC/INFO Anwenderkonferenz*, **3**:132-141. Kranzberg.
- STEININGER, A. (1996): Übernahme der forstlichen Standortkartierung in die Flächendatenbank des NIBIS. *Arbeitshefte Boden* **1996/2**:54-57.
- STORM, R. (1996): Analyse der Beziehung zwischen Standort und Vegetation mit der logistischen Regression - eine Studie in Nadelwäldern des Schwarzwaldes. *Phytocoenologia*, **26**:273-412.
- STÜBER, V. (1998): Untersuchungen zum standortbezogenen Jugendwachstum der europäischen Lärche (*Larix europaea*, Dc.; *Larix decidua*, L.). Göttingen, Univ. Diss.
- STÜBER, V. (1999-2002): Mündliche Mitteilungen zur Forstlichen Standortkartierung in Niedersachsen.
- STÜBER, V. (2002): Langfristige ökologische Waldentwicklung in den Niedersächsischen Landesforsten. Unveröffentl. Arbeitspapier des Niedersächsischen Forstplanungsamtes. Wolfenbüttel.
- THATCHER, T. (2002): Finding ridges in DEMs. Diskussionsbeitrag in der ESRI-ARC/Info-mail-Liste.
- THIELE, V., NEITE, H. & GOLLAN, B. (1994): Das Bodeninformationssystem des Landes Nordrhein-Westfalen (BIS NRW) - Hard- und Softwarekonzept des Prototyps. *GIS*, **7**(5):19-24.
- THÖLE, R. & MEYER, B. (1979): Bodengenetische und ökologische Analyse eines Repräsentativ-Areals der Göttinger Muschelkalk-Scholle als landschaftsökologische Planungsgrundlage. *Göttinger Bodenkundl. Berichte*, **56**.
- THOMBANSEN, K. (1990): Forstliche Standortskarte Nordrhein-Westfalen 1:10.000, Heft 7, Karte und Erläuterungen, Hg. LÖBF Recklinghausen.
- TROBAUGH, J. R. & JOHNSON, J. E. (1988): Use of discriminant analysis to classify site units based on soil properties and ground vegetation. *Transactions of the Wisconsin academy of science, arts and letters*, **76**:127-137.
- TURNER, S. J., O'NEILL, R. V., CONLEY, V., CONLEY, M. R. & HUMPHRIES, H. C. (1991): Pattern and scale: Statistics für landscape ecology. In: TURNER, M. G. & GARDNER, R. H. (Hg.) (1991): *Quantitative methods in landscape ecology*. *Ecological studies*, **82**:17-49.
- ULRICH, B. & SHRIVASTAVA, M. B. (1978): Schätzung quantitativer Bodenparameter bei der forstlichen Standortkartierung am Beispiel des hessischen Berglandes. II: Nährstoffhaushalt. *Forstwiss. Centralbl.*, **97**:41-50.
- UNTERBERGER, W. & WOBST, H. (1985): 40 Jahre naturgemäße Waldwirtschaft im Landteil des Staatlichen Forstamtes Stauffenburg. *Aus dem Walde. Mitteilungen aus der Niedersächsischen Landesforstverwaltung*, **39**.
- VINKEN, R. (Hg.) (1983): Die ADV als Hilfsmittel bei der Aufnahme und Konstruktion geowissenschaftlicher Kartenwerke. *Geol. Jb., Reihe A*, **70**.
- VINKEN, R. (1985): Digitale geowissenschaftliche Kartenwerke - ein neues Schwerpunktprogramm der Deutschen Forschungsgemeinschaft. *Nachr. Karten- und Vermessungswesen*, **1**, **95**:163-173.
- VÖLKEL, J. (1995): Periglaziale Deckschichten und Böden im Bayerischen Wald und seinen Randgebieten als geogene Grundlagen landschaftsökologischer Forschung im Bereich naturnaher Waldstandorte. *Z. f. Geomorph., Suppl.-Bd.*, **96**.

- WACHTER, H. (1972): Das modifizierte Verfahren der forstlichen Standortkartierung in Nordrhein - Westfalen. *Fortschr. Geol. Rheinld. und Westf.*, **21**:257-270.
- WACHTER, H. (1999): Forstliche Bodennutzung in Niedersachsen. *Mitt. d. Dt. Bodenkdl. Ges.*, **90**:81-83.
- WACHTER, H. (1999-2002): Mündliche Mitteilungen zur Forstl. Standortkartierung in Niedersachsen.
- WACHTER, H. & PIEPER, S. (1996): Forstliche Standortkartierung in Niedersachsen. *Arbeitshefte Boden*, **1996/2**:27-31.
- WACHTER, H. & STÜBER, V. (1999-2002): Mündliche Mitteilungen zur Forstlichen Standortkartierung in Niedersachsen.
- WAGNER, A. (1968): Ökoserie, Ökoseriengruppe und Standortstypengruppe. Neue Begriffe in der forstlichen Standortaufnahme. *AFZ / Der Wald*, **42**:731-732.
- WASHAUSEN, M. (1992): Digitale Geländemodelle (DGM) in Niedersachsen -Qualität, Aufbau, Nutzung. *Nachr. d. niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung*, **42**(3):177-195.
- WEISCHET, W. (1991): Einführung in die allgemeine Klimatologie: Physikalische und meteorologische Grundlagen. Stuttgart.
- WESSOLEK, G., KÖNIG, R. & RENGER, M. (1993): Einfluß des Reliefs auf den Wasserhaushalt. *Mitt. d. Dt. Bodenkundl. Ges.*, **72**:285-288.
- WIEDEMANN, E. (1951): Ertragskundliche und waldbauliche Grundlagen der Forstwirtschaft. Teil 3: Die Ermittlung der Standortsgüte.
- WISE, S. M. (1998): The effect of GIS interpolation errors on the use of digital elevation models in geomorphology. In: LANE, S., RICHARDS, K. & CHANDLER, J. (Hg.) (1998): *Landform monitoring, modelling and analysis*. British Geomorph. Research Group Symposia Series. Chichester. S. 139-164.
- WITTMANN, A. (1992): Software zur Bestimmung des Beleuchtungswinkels. Sternwarte Göttingen.
- WOBST, J. (1995): Auswirkungen von Standortwahl und Durchforstungsstrategie auf verwertungsrelevante Holzeigenschaften der Douglasie (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb. (Franco))). Göttingen, Univ. Diss.
- WOBST, W. (1962): Naturgemäße Waldwirtschaft im Forstamt Stauffenburg (Seesen/Harz). *Allg. Forstzeitschrift*, **47**. Sonderdruck.
- WOLFF, B., HÖLZER, W., BONK, S., FRÖMDLING, D., & BARITZ, R. (1999): Harmonisierung von Ergebnissen der forstlichen Standortkartierung. *Forst und Holz*, **54**:291-298.
- ZEPP, H. (1991): Eine quantitative, landschaftsökologisch begründete Klassifikation von Bodenfeuchteregime-Typen für Mitteleuropa. *Erdkunde*, **45**(1):1-17.
- ZEPP, H. & HERGET, J. (2001): Bodenwasser – Grundlagen, Einflussfaktoren und geoökologische Bezüge. *Geogr. Rundsch.*, **53**(2001):10-17.
- ZEPP, H. & STEIN, S. (1991): Zur Problematik geoökologischer Kartierung in intensiv genutzten Agrarlandschaften. Ein Diskussionsbeitrag zur Hemerobiestufenerfassung im Rahmen der geoökologischen Landschaftsaufnahme. *Geogr. Z.*, **79**:94-112.
- ZEVENBERGEN, L. W. & THORNE, C. R. (1987): Quantitative analysis of land surface topography. *Earth Surface Processes and Landforms*, **12**:47-56.
- ZEZSCHWITZ, E. VON (1984): Grundsätze für Bodenkartierungen zur forstlichen Standortkartierung. *Geol. Jb., Reihe F*, **16**:3-36.
- ZIMMERMANN, H. (1985): Die Waldstandorte in Hessen und ihre Bestockung: Waldbauliche Leitlinien und Empfehlungen für den öffentlichen Wald. *Mitteilungen der Hessischen Landesforstverwaltung*, **20**.

11 Anhang

Anhang

FORSTLICHE STANDORTSAUFNAHME

Geländeökologischer Schätzrahmen, GÖS 2000

Anwendungsbereich: MITTELGEBIRGE, BERGLAND und HÜGELLAND

Hg: Niedersächsisches Forstplanungsamt 38302 Wolfenbüttel

Stand : 01.00

Layout : 01.00, verändert

Druck : 01.00, verändert

1. Zahl: BODENFEUCHTIGKEIT und GELÄNDEFORM (Wasserhaushaltszahl)		Merkmale (Grenzbereichsdefinition):	nicht auszuschneiden bei:
1... Sehr frische, nachhaltig frische und hangfrische bis zeitweilig feuchte Hangstandorte tief eingeschnittener Rinnen (Schluchten oder schluchtenähnlich, V-förmig mit schmalen Sohlen und längeren Hängen).	Schluchten und Täler	tiefe Kerbtäler, Kastentäler, Schluchten, mit herabgesetzter Sonneneinstrahlung und geringerer Verdunstung (kühler und feuchter); Ausscheidung nicht expositionsabhängig	flachen Rinnen und Kerbtälchen
2... Frische bis mäßig frische Hangstandorte tief eingeschnittener Rinnen (Schluchten oder schluchtähnlich, V-förmig mit schmalen Sohlen und langen Hängen).		tiefe Kerbtäler, Kastentäler, Schluchten; reliefbedingte Klimaabwandlung wie oben, aber im ganzen weniger frisch; geringere Frische kann auch substratbedingt sein; Ausscheidung nicht expositionsabhängig	flachen Rinnen und Kerbtälchen
3... Sehr frische, nachhaltig frische und hangfrische bis hangfeuchte Hangstandorte mäßig <u>tief eingeschnittener Rinnen</u> (mit schmalen Sohlen und Kurzhangflanken), Kerbtälchen, Runsen ...		flache Kerbtäler und Kastentälchen, weniger starke Abwandlung des herrschenden Regionalklimas; Talboden z.T. breiter und weniger frisch, da Kurzhänge weniger Wasser heranzuführen; Ausscheidung nicht expositionsabhängig	Schluchten und tiefen Tälern
4... Sehr frische, nachhaltig frische und hangfrische , auch zeitweilig hangfeuchte Hangstandorte <u>flacher Rinnen</u> (mit schmalen Sohlen und Kurzhangflanken), Mulden, Kerbtälchen, Runsen.		flache Täler und Mulden, geringe Abwandlung des herrschenden Regionalklimas; Frische substratbedingt; Ausscheidung nicht expositionsabhängig	Schluchten, tiefen Tälern u. tief eingeschnittenen Rinnen
5... Grundfeuchte bis zeitweilig grundnasse Tal-, Mulden- und Hangfußstandorte mit mittleren Grundwasserständen in der Vegetationszeit zwischen 60 und 100 cm unter GOF.	Täler und Hangfüße (und grundwasserbeeinflusste Talsohlen) außerdem Quellstandorte in allen Hanglagen	sehr breite, grundwassergefüllte Täler (oft Haupttäler), sonst im wesentlichen Hangfüße, aber auch Hangmulden; keine spürbare Abwandlung des Regionalklimas; Ausscheidung nicht expositionsabhängig	Schluchten und engen Tälern
6... Andauernd feuchte bis nasse Quellstandorte (Quellfluren) in Tälern, Mulden und an Hängen, auch in ebenen und schwach geneigten Lagen.		Sonderformen mit Wasseraustritt, meist sumpfig, oft in Talursprungsdellen, aber auch in nicht eingetieften Lagen; Ausscheidung nicht expositionsabhängig	Grundwasserstandorten ohne quelligen Charakter
7... Grundfrische bis zeitweilig grundfeuchte Tal-, Mulden- und Hangfußstandorte mit mittleren Grundwasserständen in der Vegetationszeit zwischen 100 und 140 cm unter GOF oder mit schwebendem Grundwasser.		sehr breite, grundwassergefüllte Täler (oft Haupttäler), sonst im wesentlichen Hangfüße; keine spürbare Abwandlung des Regionalklimas; Ausscheidung nicht expositionsabhängig	Schluchten und engen Tälern
8... Frische bis nachhaltig frische , auch kurzfristig feuchte Tal-, Mulden- und Hangfußstandorte, auch mit wurzelerreichbarem Grundwasser (tiefer als 150 cm unter GOF), schwebendem Grundwasser oder zeitweiliger Staunässe im Unterboden.		im wesentlichen Hangfüße, sehr flach auslaufende Hänge, Täler und Mulden, keine spürbare Abwandlung des Regionalklimas; vorratsfrische, kaum pseudovergleyte oder ziemlich grundwasserferne Standorte sind in Varianten zu fassen; Ausscheidung nicht expositionsabhängig	Schluchten und engen Tälern, Plateaus, Rücken, ebenen Lagen
9... Frische und vorratsfrische , auch im tieferen Unterboden schwach staufrische (\pm physiologisch günstig !) Standorte der Ebenen, flachen und sehr breiten Mulden, breiten Plateaus und sehr flachen Hänge mit bis zu 5 % (3°) Hangneigung. <i>Varianten:</i> nachhaltig frische Standorte sind mit der Variante f zu erfassen.	ebene Lagen Plateaus, breite Rücken	Verebnungslagen jeder Art; Rücken, wenn diese so breit sind, daß kein Wasserabfluß zu seitlichen Hängen stattfindet; leichte Wölbung von Rücken oder Plateaus und schwache Neigungen in deren Längsrichtung sind toleriert; Frische im wesentlichen abhängig vom Substrat und der Gründigkeit	schmalen Rücken mit seitlichem Wasserabfluß Plateaukanten vgl. WHZ 26..., 27..
10... Mäßig frische bis kaum frische Standorte der Ebenen, sehr flachen Hänge, breiten Rücken und Plateaus mit bis zu 5 % (3°) Hangneigung.		Reliefmerkmale wie bei 9... Frische im wesentlichen abhängig vom Substrat und der Gründigkeit	wie bei 9...
11... Mäßig sommertrockene bis trockene Standorte der Ebenen, sehr flachen Hänge, breiten Rücken und Plateaus mit bis zu 5 % (3°) Hangneigung.		Reliefmerkmale wie bei 9... Frische im wesentlichen abhängig vom Substrat und der Gründigkeit	wie bei 9...

<p>12... Sehr stark wechselfeuchte bis wechselfrockene Standorte der Ebenen, flachen Hänge, breiten Rücken, mit relativ flach sitzender Staunässe und <u>scharfem Wechsel</u> zwischen Vernässung und Abtrocknung des Oberbodens; Wasserbindevermögen des Oberbodens ist gering; kurze Naßphase, trockene Phase überwiegt.</p>	<p>Stauwasserstandorte in ebener bis schwach geneigter Lage</p>	<p>weniger stark geneigte Lagen, jedoch auch Hangstandorte; Wasserhaushalt abhängig von der Beschaffenheit des Substrates und dessen Verdichtung; sehr dichte, hoch anstehende, ± wasserundurchlässige Staukörper, darüber Deckschichten mit geringer nutzbarer Wasserspeicherkapazität (nWSK)</p>	<p>Schatt- oder Sonnhängen (vgl. WHZ 17..., 21...) mit > 10 % Neigung</p>
<p>13... Stärker wechselfeuchte bis staufeuchte Standorte der Ebenen, flachen Hänge (schwach geneigte Lagen), Hangfüße und flachen Mulden, mit ziemlich flach bis mäßig tief sitzender Staunässe und mäßig ausgeprägtem Wechsel zwischen Vernässung und Austrocknung des Oberbodens; Phasen etwa gleich lang, meistens jedoch etwas längere feucht-frische Phase.</p>		<p>weniger stark geneigte Lagen, jedoch auch Hangstandorte; Wasserhaushalt abhängig von der Beschaffenheit des Substrates und dessen Verdichtung; meist mäßig bis weniger toniges Material, Staukörper etwas weniger durchlässig als bei WHZ 14; stark marmorierte Profilwand, erhebliche Reduktionszonen; Tageswasser steht relativ lange im Profil</p>	<p>wie bei 12...</p>
<p>14... Schwächer wechselfeuchte bis staufrische Standorte der Ebenen, flachen Hänge (schwach geneigte Lagen) und Mulden, mit gering bis mäßig ausgeprägtem Wechsel zwischen Vernässung und abnehmender Feuchte bei tiefer sitzender Staunässe; feuchte bis frische Phase überwiegt vor allem zu Beginn der Vegetationszeit (i.d.V.), aber kürzere Trockenphase i.d.V.</p>		<p>weniger stark geneigte Lagen, jedoch auch Hangstandorte; Wasserhaushalt abhängig von der Beschaffenheit des Substrates und dessen Verdichtung; meist weniger toniges Material oder durchlässigere Staukörper als bei WHZ 13; schwächer marmorierte Profilwand, erhebliche Oxidationszonen; Tageswasser steht nur kurze Zeit im Profil</p>	<p>wie bei 12..</p>
<p>15... Staunasse Standorte (andauernd staufeucht bis staunaß) der Ebenen und flachen Hänge (sehr schwach geneigte Lagen) mit ganzjährig hoch reichender Staunässe oder hohen Niederschlägen und geringer Verdunstung; wenig ausgeprägter Wechsel zwischen Vernässung und schwindender Feuchte; Naßphase ganzjährig überwiegend, kaum Trockenzeiten in der Vegetationszeit.</p>		<p>weniger stark geneigte Lagen, auch Hangmulden; Wasserhaushalt abhängig von stark stauenden Schichten in Verbindung mit abflußlosen Verebnungslagen und geringer Tiefe unter GOF; (Stagnogleye, ausgeprägte Pseudogleye); stark gebleichte Profilwand mit geringeren Oxidationszonen; auch Übergänge zwischen Grund- u. Stauwasser; Tageswasser steht lange Zeit im Profil bzw. Profil ist auch in der Vegetationszeit ständig wassergefüllt; meistens durch Zuflüsse geprägtes Wasserregime</p>	<p>wie bei 12..</p>
<p>16... Moorstandorte der Ebenen, flachen Hänge (schwach geneigte Lagen), Täler und Mulden. 16.1... sehr schwach nährstoffversorgt; (Hochmoore, hochmoorähnlich) 16.2... schwach nährstoffversorgt (arme Niedermoore, Hochmoore) 16.3... mäßig nährstoffversorgt (Niedermoore) 16.4... ziemlich gut nährstoffversorgt (Niedermoore) 16.5... gut nährstoffversorgt (Niedermoore) 16.6... sehr gut nährstoffversorgt (Niedermoore)</p>		<p>Berglandmoore</p>	<p>Humusstandorte, überwiegend Hangmoore; bruchmoor- oder hochmoorartige Torfauflagen ab etwa 30 cm Mächtigkeit (> 30 % organische Substanz), auch entwässerte und abgetorfte Moore; Moormächtigkeit und Wasserhaushalt werden durch Varianten verschlüsselt; bei Moorauflagen mit Mächtigkeiten < 30 cm und/oder < 30 % organischer Substanz erfolgt noch keine Zuordnung zu Moorstandorten (bis 05/1999 sind auch Torfauflagen von etwa 15 bis 30 cm als Moorstandorte verschlüsselt, vgl. Variantenschema); Ausscheidung nicht expositionsabhängig</p>

17... Wechselfeuchte und hangfeuchte Schatthang- und Schatthangmuldenstandorte; auszuscheiden an mäßig und stärker geneigten Standorten mit Stau- und/oder Hangfeuchte.	Schatt- hänge	von WNW über N nach OSO exponierte Hänge; Abwandlung des Regionalclimas zum frischeren, kühleren, verdunstungsschwächeren Bereich; Hangneigung nicht über 45 °; Frischegrad abhängig von Neigungsgrad (Hangwasser), Substrat und Gründigkeit; Pseudovergleyung und/oder Vergleyung (Amphigleye) deutlich sichtbar, Überschußwasser aufgrund der Hanglage mehr oder weniger in Bewegung, keine Sauerstoffarmut	Stauwasserstandorte n (vgl. WHZ 12... bis 15...) in ebenen bis schwach geneigten Lagen (weniger als 10 %)	
18... Hangfrische, nachhaltig frische und sehr frische , auch im Unterboden schwach durchrieselte Schatthang- und Schatthangmuldenstandorte.		Expositionsmerkmale wie bei 17... Frischegrad abhängig von Neigungsgrad, Substrat und Gründigkeit; keine deutlichen Vergleyungen	Steilabstürzen (Neigung > 45° , vgl. WHZ 28, 29); tieferen u. längeren Hangmulden (5,7,8)	
19... Frische und vorratsfrische , auch im Unterboden staufrische (physiologisch günstig) Schatthang- und Schatthangmuldenstandorte.		Expositionsmerkmale wie bei 17... Frischegrad abhängig von Neigungsgrad, Substrat und Gründigkeit; keine deutlichen Vergleyungen	wie bei 18...	
20... Mäßig frische bis mäßig sommertrockene Schatthangstandorte.		Expositionsmerkmale wie bei 17... Frischegrad abhängig von Neigungsgrad, Substrat und Gründigkeit; keine Vergleyungen und Pseudovergleyungen	wie bei 18..	
21... Wechsel- und hangfeuchte Sonnhang- und Sonnhangmuldenstandorte; auszuscheiden an mäßig und stärker geneigten Standorten mit Stau- und/oder Hangfeuchte.	Sonn- hänge	von OSO über S nach WNW exponierte Hänge; Abwandlung des Regionalclimas zum weniger frischen, wärmeren, verdunstungsstärkeren Bereich; Hangneigung nicht über 45 °; Frischegrad abhängig von Neigungsgrad (Hangwasser), Substrat und Gründigkeit; Pseudovergleyung und/oder Vergleyung (Amphigleye) deutlich sichtbar, Überschußwasser aufgrund der Hanglage mehr oder weniger in Bewegung, keine Sauerstoffarmut	Stauwasserstandorte n (vgl. WHZ 12... bis 15...) in ebener bis schwach geneigter Lage	
22... Hangfrische, nachhaltig frische und sehr frische , auch im Unterboden schwach durchrieselte Sonnhang- und Sonnhangmuldenstandorte.		Expositionsmerkmale wie bei 21... Frischegrad abhängig von Neigungsgrad, Substrat und Gründigkeit, keine deutlichen Vergleyungen	wie bei 18...	
23... Frische und vorratfrische , auch im Unterboden staufrische (physiologisch günstig) Sonnhang- und Sonnhangmuldenstandorte.		Expositionsmerkmale wie bei 21... Frischegrad abhängig von Neigungsgrad, Substrat und Gründigkeit, keine deutlichen Vergleyungen	wie bei 22...	
24... Mäßig frische bis kaum frische Sonnhangstandorte		Expositionsmerkmale wie bei 21... Frischegrad abhängig von Neigungsgrad, Substrat und Gründigkeit; keine Vergleyungen und Pseudovergleyungen	wie bei 22...	
25... Mäßig sommertrockene Sonnhangstandorte		Expositionsmerkmale wie bei 21... Frischegrad abhängig von Neigungsgrad, Substrat und Gründigkeit	wie bei 22...	
26... Frische bis mäßig sommertrockene Standorte der schmalen Rücken, Rippen, Kämme, Kuppen, Oberhänge und Plateauränder.		Kämme, Kuppen, schmale Rücken	stärker exponierte Standorte; schmale Rücken mit seitlichem Wasserabfluß zu den Hängen; starke Windeinwirkung; starker Verdunstungsanstoß, Frischegrad abhängig von Substrat und Gründigkeit	breiten Rücken (vgl. WHZ 9... bis 11...)
27... Mäßig trockene und trockene Standorte der schmalen Rücken, Rippen, Kämme, Kuppen, Oberhänge und Plateauränder.			Expositionsmerkmale wie bei 26... Frischegrad abhängig von Neigungsgrad, Substrat und Gründigkeit	wie bei 26...
28... Mäßig frische bis mäßig trockene , steile bis schroffe Hangstandorte.	Steilab- stürze	sehr schroffe Hänge (über 45 °) mit starker Erosion in Freilage und extremen Wuchs- und Wirtschaftsbedingungen; Frischegrad abhängig von Substrat und Gründigkeit	Schatt-/Sonnhängen (vgl. WHZ 18.. bis 25...)	
29... Trockene , steile bis schroffe Hangstandorte.		Expositionsmerkmale wie bei 28... Frischegrad abhängig von Neigungsgrad, Substrat und Gründigkeit	wie bei 28	

2. Zahl: NÄHRSTOFFVERSORGUNG (Nährstoffzahl)	Merkmale (Grenzbereichsdefinition):
..1.. sehr schwach mit Nährstoffen versorgt;	Wegen der komplexen Beziehungen der verschiedenen Standortfaktoren können Grenzbereiche hier nicht fixiert werden; Substrat, Gründigkeit, Wasserhaushalt, Schichtung, Basengehalt und Mineralreichtum sind zu beachten. <u>Beispiele zur groben Eingrenzung:</u> sehr schwach versorgt (..1..): z.B. flachgründige, trockene, feinbodenarme Quarzit-Verwitterungsböden; ziemlich gut versorgt (..4..): z.B. mächtige Lößlehme über Buntsandsteinverwitterungsmaterial; sehr gut versorgt (..6..): z.B. tiefgründige, frische, Lößvermischte Kalksteinbraunlehme
..2.. schwach mit Nährstoffen versorgt;	
..3.. mäßig mit Nährstoffen versorgt;	
..4.. ziemlich gut mit Nährstoffen versorgt;	
..5.. gut mit Nährstoffen versorgt;	
..6.. sehr gut mit Nährstoffen versorgt;	

3. u. 4. Zahl: BODENART und LAGERUNGSVERHÄLTNISSE (Substratzahl)	Merkmale (Grenzbereichsdefinition)	nicht auszuscheiden bei:	
..1. Feinbodenärmste Decken (Schotter, Felsen, Blockhalden und Sande)	...1 Felsen, Blockhalden und Schotter	Böden mit geringstem Feinbodenanteil: im wesentlichen felsige, blockreiche Standorte (Blockhalden)	
	...2 feinbodenarme Gesteinsböden (z.B. aus Geröllen, Kiesen, Schottern)	Böden mit geringem Feinbodenanteil: Skelettanteil > 50 %; im wesentlichen skelettreiche Fließerden und Frostschuttdecken größerer Mächtigkeit, fast unverlehmte Kiese; auch aus pleistozänem Material	<i>Flachlandschema:</i> ..1.1 (Kiesen u. Schottern mit 50 bis 75 % Skelett)
	...3 feinbodenärmste, auch unverlehmte oder fast unverlehmte Decken über feinbodenreichem Silikatgestein	zweischichtige Böden; 30 bis 70 cm mächtige Decken aus unverlehmten oder fast unverlehmten Sanden oder mit Skelettanteilen > 50 %; auch Decken aus pleistozänem Material; z.B. mächtige Überrollungen (Überrollung < 30 cm mächtig → Variante Ü) über feinbodenreichem Silikatgesteinsverwitterungsmaterial	<i>Flachlandschema:</i> ..2.3 <i>Berglandschema:</i> ..1.1, ..1.2, ..1.4, ..1.5
	...4 feinbodenärmste, auch unverlehmte oder fast unverlehmte Decken über tonigen Lagen	zweischichtige Böden; 30 bis 70 cm mächtige Decken aus unverlehmten oder fast unverlehmten Sanden oder mit Skelettanteilen > 50 %; auch Decken aus pleistozänem Material; z.B. mächtige Überrollungen (Überrollung < 30 cm mächtig → Variante Ü) über Tonen, auch über kalkhaltigen Tonen und tonigen Fließerden (in der Regel stauend)	<i>Flachlandschema:</i> ..7.3, ..7.4 <i>Berglandschema:</i> ..1.1, ..1.2, ..1.3, ..2.4, ..5.3
	...5 feinbodenärmste, auch unverlehmte oder fast unverlehmte Decken über Kalkgestein oder basenreichem Silikatgestein	zweischichtige Böden; 30 bis 70 cm mächtige Decken aus unverlehmten oder fast unverlehmten Sanden oder mit Skelettanteilen > 50 %; auch Decken aus pleistozänem Material; z.B. mächtige Überrollungen (Überrollung < 30 cm mächtig → Variante Ü) über Kalkgestein, basenreichem Silikatgestein oder sehr basenreichen Fließerden	<i>Flachlandschema:</i> ..2.8, ..8.1, ..8.2 <i>Berglandschema:</i> ..1.2 bis ..1.4, ..4.7
	...6 Gerölle, Schotter, Kiese, Sande mit erheblichen Überlagerungen durch feinbodenreiche Decken	zweischichtige Böden; 20 bis 70 cm mächtige Lößlehme oder andere schluff-, lehm- oder tonreiche Feinböden über feinbodenarmen (in der Regel durchlässigen) Geröllen, Schottern, Kiesen oder höchstens sehr schwach verlehmten Sanden, auch über pleistozänem Material	<i>Berglandschema:</i> ..2.3

..2. Basenarme Silikatgesteine, z.B. Grauwacken, Tonschiefer, Kieselschiefer, Granit, Buntsandstein und sonstige Sandsteine sowie basenarme Fließerden	...1 sandige Bodenarten	stark sandige, anlehmmige bis sehr schwach verlehmmte, oft grobkörnige Böden, im wesentlichen aus Sandsteinen; im Übergang Bergland / Flachland: etwa 20 bis 70 cm mächtige, unverlehmmte oder anlehmmige bis stark anlehmmige pleistozäne Sande über basenarmem Silikatgestein	<i>Berglandschema: ..1.3</i>
	...2 lehmig-sandige Decken (i.d.R. Fließerden) oder geringmächtige schluffig-lehmige Decken	zweischichtige Böden; lehmig-sandige oder geringmächtige (bis 30 cm) schluffig-lehmige Decken über basenarmem Silikatgestein; im Übergang Bergland á Flachland: bis 30 cm mächtige Geschiebelehme oder lehmige Geschiebesande über basenarmem Silikatgestein	<i>Flachlandschema: ..4.1</i> <i>Berglandschema: ..7.2</i>
	...3 mit stärkerer Beeinflussung durch schluffig-lehmige Decken (i.d.R. Fließerden) größerer Mächtigkeit	zweischichtige Böden; 30 bis 70 cm mächtige, schluffig-lehmige Decken, auch Lößlehmdecken oder stark schluffgeprägte Fließerden über basenarmem Silikatgestein	<i>Berglandschema: ..1.6, ..3.1, ..3.2, ..7.2</i>
	...4 sandige bis lehmige Bodenarten (Fließerden) über tonigen Schichten	zweischichtige Böden; Lößbeeinflusste Fließerden oder schluffig-lehmiges Silikatgesteinsverwitterungsmaterial über Ton (in der Regel stauend) in mehr als 70 cm Tiefe; im Übergang Bergland / Flachland: oft mehrschichtige Böden; 20 bis 70 cm mächtige, schwach anlehmmige bis verlehmmte pleistozäne Sande über Fließerden über Ton in mehr als 70 cm Tiefe	<i>Flachlandschema: ..3.8</i> <i>Berglandschema: ..4.3, ..5.3, ..6.5, ..7.4</i>
	...5 sandige bis schluffig-lehmige Bodenarten (Fließerden) über Kalkgestein oder basenreichem Silikatgestein	zweischichtige Böden; Lößbeeinflusste Fließerden oder schluffig-lehmiges Silikatgesteinsverwitterungsmaterial über Kalk oder basenreichem Silikatgestein in mehr als 70 cm Tiefe; im Übergang Bergland á Flachland: 20 bis 70 cm mächtige, schwach anlehmmige bis verlehmmte pleistozäne Sande, unter Zwischenschaltung anderer Materialien, über Kalk oder basenreichem Silikatgestein in mehr als 70 cm Tiefe	<i>Flachlandschema: ..3.9</i> <i>Berglandschema: ..4.7</i>
	...6 Mischlehm Böden, auch Lößfließerden, mit erheblicher Beeinflussung durch basenreiches Silikatgestein über basenarmem Silikatgestein	zweischichtige Böden; bis 70 cm mächtige Mischlehm Böden, auch Lößbeeinflusste Fließerden oder schluffig-lehmiges Verwitterungsmaterial, mit erheblicher Beeinflussung durch basenreiches Silikatgestein über basenarmem Silikatgestein	<i>Flachlandschema: ..4.1</i> <i>Berglandschema: ..4.6</i>
..3. Löss oder ähnliche feinkörnige Sedimente von > 70 cm Mächtigkeit	...1 sandige o.a. mit Lößfremdem Material durchmischte, auch verarmte Feinlehm Böden	über 70 cm mächtige, mit Lößfremdem Material vermischte Lößlehme und Sandlöss (auch Fließerden)	<i>Berglandschema: ..2.3, ..3.3, ..3.4, ..7.1</i>
	...2 typische Lößlehme (Feinlehm Böden)	Über 70 cm mächtige, wenig oder gar nicht durch Fremdmaterial beeinflusste Lößlehme und Lößfließerden, Lößlehme in typischer Ausbildung und Lagerung	<i>Flachlandschema: ..4.5</i> <i>Berglandschema: ..2.3, ..3.3, ..3.4</i>
	...3 basenreiche und/oder über basenreichem Grundgestein lagernde und mit basenreichem Material vermischte Feinlehm Böden	Über 70 cm mächtige, typische Lößlehme, auch Lößlehme, die durch Überrollung oder Vermischung eutrophiert sind, über basenreichem in der Regel durchlässigem Grundgestein, z.B. über Kalksteinbraunlehm oder auf Kalkstein	<i>Berglandschema: ..3.1, ..3.2, ..3.4, ..4.5, ..4.6, ..6.4, ..6.5</i>
	...4 verdichtete oder über ± undurchlässigem Verwitterungsmaterial lagernde Feinlehm Böden über basenarmem Grundgestein	Über 70 cm mächtige Lößlehme und Lößfließerden mit bodentypologisch wesentlicher Beeinflussung durch einen ausgeprägten, meist tonigen Staukörper	<i>Berglandschema: ..2.4, ..3.1, ..3.3, ..7.1, ..7.4</i>
	...5 basenarme und/oder mit basenarmem Material vermischte Feinlehm Böden über basenarmem Grundgestein	Über 70 cm mächtige, typische Lößlehme, auch verarmte Feinlehm Böden und Lößfließerden, Über basenarmem in der Regel durchlässigem Silikatgestein; im Übergang Bergland á Flachland auch über pleistozänem Material	<i>Berglandschema: ..3.1, ..3.2, ..3.3, ..6.2, ..7.1, ..7.2</i>

..4. Kalkgesteine, Keuper-Mergel, Kalksandsteine, kalkhaltiger Hangschutt u.ä.	...1	steinige, feinkbodenarme Böden	sehr stark skeletthaltige Böden (z.B. Protorendzina, mullartige Rendzina); der hohe Skelettgehalt begrenzt den Wasserhaushalt und das Wachstum	<i>Berglandschema: ..4.2, ..4.7, ..6.1</i>
	...2	steinige Kalksteinverwitterungsböden, auch mit Lößbeteiligung	stark skeletthaltige Böden (z.B. Rendzina, Mullrendzina, Braunerde-Rendzina, stärker mergelgeprägte Rendzina) mit gut entwickelten humosen Anteilen, auch mit geringer lehmiger Kalksteinverwitterung oder mit Lößschleiern bis 20 cm	<i>Berglandschema: ..4.3, ..4.7</i>
	...3	mächtigere Kalksteinverwitterungslehmböden oder kalkbeeinflusste Mischlehmböden mit Lößüberzügen oder Lößbeimischung, auch steinige Kalksteinverwitterungsböden mit Lößauflagen	im Oberboden meist weniger skeletthaltige Böden; von 20 bis 40 cm mächtigen Lößlehm überdeckte Kalkgesteine und deren Verwitterungsprodukte oder kalkbeeinflusste Mischlehme, auch bis 70 cm mächtige Lößbeeinflusste Kalksteinbraunlehme und Mischlehme (kalkbeeinflusst)	<i>Berglandschema: ..4.4, ..4.7, ..6.2 bis ..6.5</i>
	...4	mächtige Mischlehmböden über Kalksteinverwitterungslehm, auch mit Überlagerung von Lößlehm	von 40 bis 70 cm mächtigen Lößlehm überdeckte Kalkgesteine und deren Verwitterungsprodukte oder von bis zu 70 cm mächtigen Mischlehmböden / Fließerden überdeckte Kalksteinbraunlehme; Mischlehme aus überwiegend Lößfremdem Material; im Übergang Bergland á Flachland: 10 bis 70 cm mächtige Geschiebelehme über Kalkgestein	<i>Berglandschema: ..3.3, ..4.3, ..4.5, ..4.6, ..4.7, ..6.4, ..6.5, ..7.1</i>
	...5	kalkhaltige Mischlehmböden über basenreichem Grundgestein	Über 30 cm mächtige, kalkhaltige Fließerden, mit prägender Beeinflussung des Standortes, über basenreichem Grundgestein (z.B. Diabas, Basalt, Gabbro)	<i>Berglandschema: ..3.3, ..4.4, ..4.6, ..4.7, ..6.4, ..6.5, ..7.1, ..7.2</i>
	...6	kalkhaltige Mischlehmböden über basenarmem Grundgestein	Über 30 cm mächtige, kalkhaltige Fließerden, mit prägender Beeinflussung des Standortes, über basenarmem Grundgestein (z.B. Buntsandstein, Grauwacke, tertiäre Sande)	<i>Berglandschema: ..3.3, ..4.5, ..4.7, ..5.4, ..6.4, ..6.5, ..7.1, ..7.2</i>
	...7	Kalksandsteinböden u.ä. größerer Mächtigkeit	Kalksandsteinböden oder durch Kalksandsteinverwitterungsmaterial geprägte Fließerden, auch mit bis zu 70 cm mächtigen Mischlehm- oder Lößfließerden überdeckte Kalksandsteinböden	<i>Flachlandschema: ..4.7 Berglandschema: ..1.5, ..2.5, ..4.1 bis ..4.6</i>
	...8	kalkhaltige Mischlehmböden über Ton oder Bröckelton	Über 30 cm mächtige, kalkhaltige Fließerden, mit prägender Beeinflussung des Standortes, über Tonböden (auch über Bröckeltonen und tongründigen Böden mit und ohne Stauwirkung)	<i>Flachlandschema: ..4.6, ..4.7, ..7.6, ..7.7, ..8.1 bis 8.6 Berglandschema: ..2.4, ..3.4, ..4.3 bis ..4.7, ..5.4, ..6.4, 6.5</i>
..5. Tongesteine (auch kalkhaltig)	...1	schwere Tonböden	einschichtige Böden; ohne oder mit höchstens 10 bis 20 cm mächtigen Decklehm- oder -sanden; mächtige, kompakte, quellende und schrumpfende (Trockenrisse !) lehmige Tone und Tone	<i>Berglandschema: ..5.2</i>
	...2	tonige Böden sandig-tonige und schluffig-tonige Böden, auch mit dünnen Lößüberzügen	im Oberboden durch Fließerdebewegung verunreinigte sand-, lehm- oder schluffbeeinflusste Tone, auch mit 10 bis 20 cm mächtigen Lößschleiern	<i>Berglandschema: ..5.1</i>
	...3	von sandigen bis schluffig-lehmigen Fließerden überdeckte Tonböden (tongründige Böden)	zwei- und mehrschichtige Böden; etwa 20 bis 70 cm mischlehm- oder Lößlehmüberdeckte Tone; Mischlehme aus überwiegend Lößfremdem Material	<i>Flachlandschema: ..4.6, ..7.3, ..7.4 Berglandschema: ..2.4, ..7.4</i>
	...4	von basenreichen Fließerden überdeckte Tonböden (tongründige Böden)	zwei- und mehrschichtige Böden; etwa 20 bis 70 cm mächtige, basenreiche Fließerden über Ton; auch basenreiche, tonige Fließerden über Ton oder Tone über Kalkgestein in größeren Tiefen	<i>Berglandschema: ..3.3, ..4.6, ..6.5, ..7.4</i>
	...5	Böden aus hoch anstehendem Bröckelton, auch mit geringmächtigen schluffig-lehmigen Fließerdeüberzügen	einschichtige, höchstens im Oberboden (0 bis 30 cm) durch Fließerdebewegungen sand-, lehm- oder schluffbeeinflusste Bröckeltonen, auch mit bis zu 30 cm mächtigen Lößschleiern; ± ohne undurchlässige Stauschichten aufgrund intensiver Bröckelstruktur	<i>Flachlandschema: ..4.6, ..7.2 bis ..7.4 Berglandschema: ..2.4, ..5.2, ..5.3, ..5.6, ..7.4</i>

	...6 von sandigen bis schluffig-lehmigen Fließerden überdeckte Bröckeltonböden	zwei- und mehrschichtige Böden; von 30 bis 70 cm mächtigen Lößlehm- oder Fließerden überdeckte Bröckeltone; ± ohne undurchlässige Stauschichten aufgrund intensiver Bröckelstruktur	<i>Flachlandschema:</i> ..7.1, ..7.2 <i>Berglandschema:</i> ..5.1, ..5.2, ..5.3, ..5.5
..6. Basenreiche Silikatgesteine, z.B. Basalt, Diabas, Gabbro und basenreiche Fließerden (auch basenreiche Grauwacken und Tonschiefer)	...1 sehr skelettreiche Silikatgesteinsverwitterungsböden	sehr stark skeletthaltige Böden oder hoch anstehendes Grundgestein, mit höchstens 20 cm mächtigen Deckschichten; Basenreichtum des Grundgesteins ist entscheidend (Carbonatgehalt maximal c3) !	<i>Berglandschema:</i> ..4.1, ..6.2
	...2 skelettreiche Silikatgesteinsverwitterungsböden mit geringmächtigen Überdeckungen	stark skeletthaltige, im Oberboden feinkörnige Böden und/oder anstehendes Grundgestein mit 20 bis 40 cm mächtigen Deckschichten; Basenreichtum des Grundgesteins ist entscheidend (Carbonatgehalt maximal c3) !	<i>Berglandschema:</i> ..4.3, ..6.1
	...3 mächtige, feinkörnige Silikatgesteinsverwitterungsböden, auch mit ± mächtigen Deckschichten	bis zu 70 cm mächtige, schwach skeletthaltige Böden aus anstehendem Grundgestein, auch mit bis zu 70 cm mächtigen Deckschichten über basenreichem Grundgestein; Basenreichtum des Grundgesteins ist entscheidend (Carbonatgehalt maximal c3) !	<i>Berglandschema:</i> ..4.3, ..6.2, ..6.4
	...4 mächtige Mischlehme aus basenreichem Verwitterungsmaterial über basenarmem i.d.R. durchlässigem Grundgestein	Über 70 cm mächtige, basenreiche Mischlehm- oder Fließerden, mit und ohne Lößbeteiligung über basenarmem, in der Regel durchlässigem Grundgestein; (Carbonatgehalt der Deckschicht maximal c3)	<i>Berglandschema:</i> ..2.6, ..3.3, ..4.3 bis ..4.6, ..7.1
	...5 mächtige Mischlehme aus basenreichem Verwitterungsmaterial über undurchlässigem Grundgestein	Über 70 cm mächtige, basenreiche Mischlehm- oder Fließerden, mit und ohne Lößbeteiligung über undurchlässigem Grundgestein; (Carbonatgehalt der Deckschicht maximal c3)	<i>Berglandschema:</i> ..2.4, ..3.4, ..4.3 bis ..4.6, ..5.4, ..7.1, ..7.4
..7. Kolluvionen (holozäne Hangschuttverlagerungen) und Alluvionen (holozäne Wasserabsätze)	...1 mächtige Ablagerungen	Über 70 cm mächtige, häufig stark durchmischte, nicht stauwasserbeeinflusste Kolluvionen und Alluvionen, Material meist schluffig und in der Regel humos; Alluvionen häufig mit schlackigen, sandigen und kiesigen Zwischenlagen	<i>Flachlandschema:</i> ..5.3, ..5.4, ..6.4 bis ..6.6 <i>Berglandschema:</i> ..3.1, ..3.4, ..4.4, ..4.6, ..6.4, ..6.5, ..7.4
	...2 Ablagerungen über basenarmem, ± durchlässigem Grundgestein	Ablagerungen wie bei ...7.1; jedoch nur 20 bis 70 cm mächtig, über wurzelerreichbarem, basenarmem und ± durchlässigem Grundgestein	<i>Flachlandschema:</i> ..5.1, ..5.2, ..6.1 bis ..6.3 <i>Berglandschema:</i> ..2.2, ..2.3, ..4.6, ..7.3
	...3 Ablagerungen über basenreichem, ± durchlässigem Grundgestein	Ablagerungen wie bei ...7.1; jedoch nur 20 bis 70 cm mächtig, über wurzelerreichbarem, basenreichem und ± durchlässigem Grundgestein, auch über Kalkgestein	<i>Flachlandschema:</i> ..3.3, ..5.4, ..6.5, ..6.6 <i>Berglandschema:</i> ..4.5, ..6.2, ..6.3
	...4 Ablagerungen über ± undurchlässigem Grundgestein oder mit stauenden Zwischenlagen	in der Regel humose Ablagerungen jeder Mächtigkeit über ± undurchlässigem, deutlich stauendem Grundgestein oder mit stauenden Zwischenlagen	<i>Flachlandschema:</i> ..5.2, ..6.5, ..6.6 <i>Berglandschema:</i> ..2.4, ..3.4, ..5.3, ..5.5, ..6.5, ..7.1

VARIANTENSHEMA des GÖS 2000 (Auszug, verändert):

NÄHRSTOFFHAUSHALT

- + - besser nährstoffversorgt als der Grundtyp
- - schwächer nährstoffversorgt als der Grundtyp

WASSERHAUSHALT

- f - frischer bzw. feuchter als der Grundtyp;
auch höherer Wasserüberschuß bei Stauwasserstandorten bzw. höherer Grundwasserstand bei Gleyen
- g - deutlicher Grundwasser-Einfluß im Unterboden;
auch bei Standorten mit schwach bewegtem Stauwasser sowie bei Hangwasserzuzug (Hanggleye, Pseudogley, Gleye, Gley-Pseudogleye u.ä.)
- q - quellig, Quellmoorstandort; (i.d.R. kleinflächig)
- s - deutlicher Stauwasser-Einfluß (schwächer als staufrisch);
auch bei betont frischen Standorten mit Tendenz zur Staufrische (9 s);
bei Kombination mit Variante f wird s vorangestellt (sf)
- t - trockener als der Grundtyp; auch geringerer Wasserüberschuß bei Stauwasserstandorten

SUBSTRAT

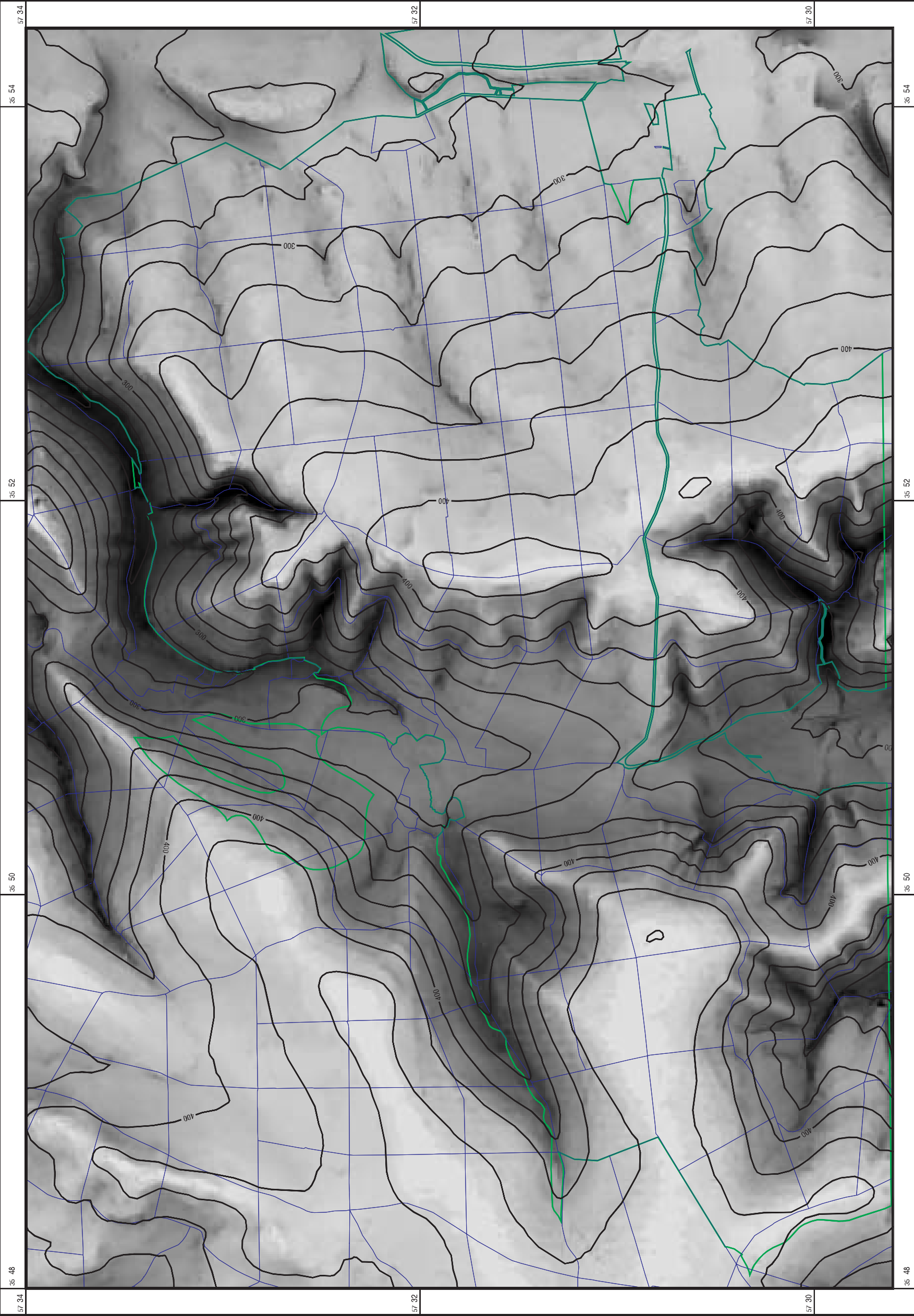
- Ca - mit freiem Carbonat im Unterboden (sofern nicht mit Schlüsselzahl erfaßbar)
- fs - feinsandige Ausprägung eines Substrates, auch zusammen mit "u" verwendbar, dann Reihenfolge "fsu"
- k - kolluvial (durch Wasserablagerung) beeinflusster Oberboden, der aufgrund seiner sonstigen Eigenschaften nicht in die Substratgruppe ..7. eingeordnet wird
- ki - kiesige, streifen- oder schichtweise Einlagerungen im Unterboden
(Zuordnung zur Gruppe der Kiese noch nicht gerechtfertigt)
- T - Ton im Unterboden; (sofern nicht mit Schlüsselzahl erfaßbar);
(so gekennzeichnete Typen sind nicht zur Gruppe der Tone zu stellen)
- u - schluffige Ausprägung eines Substrates, auch zusammen mit "fs" verwendbar, dann Reihenfolge "fsu"
- w - durch Wasser ab- oder umgelagertes Substrat; (auch Beckenabsätze, sofern nicht mit Schlüsselzahlen erfaßbar)

OBERBODENBEEINFLUSSUNG

- A₁ - Auswehungsmulden bzw. Abwehungsflächen durch länger anhaltende Freilage (sog. geköpfte Böden)
- A₂ - anthropogen bedingte rezente Humusverluste (vor allem durch Abschieben); auch streugenutzte Bereiche
- b - tiefere Bodenbearbeitung im Oberboden (Melioration und dgl.; Oberboden wesentlich verändert;
ist bei künstlich übererdeten Mooren in jedem Fall zu benutzen !), nicht bei Rabatten !
- d - auffällig starke, für das Bodenmaterial untypische Verdichtung des Oberbodens
(i.d.R. anthropogene Verdichtung durch Rad- / Kettenfahrzeuge)
- h - mit ungewöhnlich starker Humus-Anreicherung im Oberboden, (eindeutig kein Esch !)
- H - überwehte bzw. natürlich übererdete / überdeckte Moore
- l - stark schluffiges, i.d.R. von Löß oder Sandlöß beeinflusstes Material im Oberboden
(i.d.R. 20 bis 40 cm mächtige Fließerden);
- L - stark schluffige reine Löß- / Sandlöß-Decken von 20 bis 40 cm Mächtigkeit (i.d.R. keine Fließerden)
- m - anmooriger Oberboden (> 15 % bis < 30 % organisches Material)
- M - mit einer Moorauflage bis zu 30 cm Mächtigkeit; (> 30 % organisches Material);
- P₁ - Pflug-Horizont aus aktueller landwirtschaftlicher Bearbeitung im Oberboden, hoch aufgedüngt
(Pflugsohle noch erkennbar oder mindestens jahrzehntelange landwirtschaftliche Nutzung bekannt)
- P₂ - Pflug-Horizont aus reliktscher landwirtschaftlicher Bearbeitung im Oberboden, nur noch höhere P₂₀₅-
Werte
(Pflugsohle noch erkennbar oder mindestens jahrzehntelange landwirtschaftliche Nutzung bekannt)
- R - prägende Standortsbeeinflussung durch Rabatten (Befahrbarkeit der Flächen ist deutlich eingeschränkt,
Abstand der Rabatten / -gräben < 10 m)
- Ü - Überrollung mit reicherem oder schwächerem Material; auch Steinüberrollung
- y - geringmächtige Überdeckung mit Fremdmaterial
(Ausweisung als Sonderstandort S₂ noch nicht gerechtfertigt)

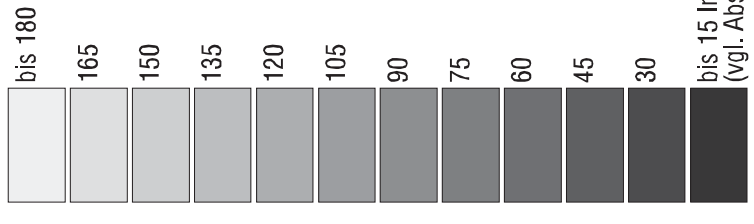
SONDERSTANDORTDIFFERENZIERUNG

- S₁ - Sonderstandorte, Abbaufächen (durch starke anthropogene Beeinflussung veränderte Böden)
- S₂ - Sonderstandorte, Aufschüttungsflächen, Halden (durch starke anthropogene Beeinflussung veränderte Böden)



Karte 1a
Informationslage
EXP210

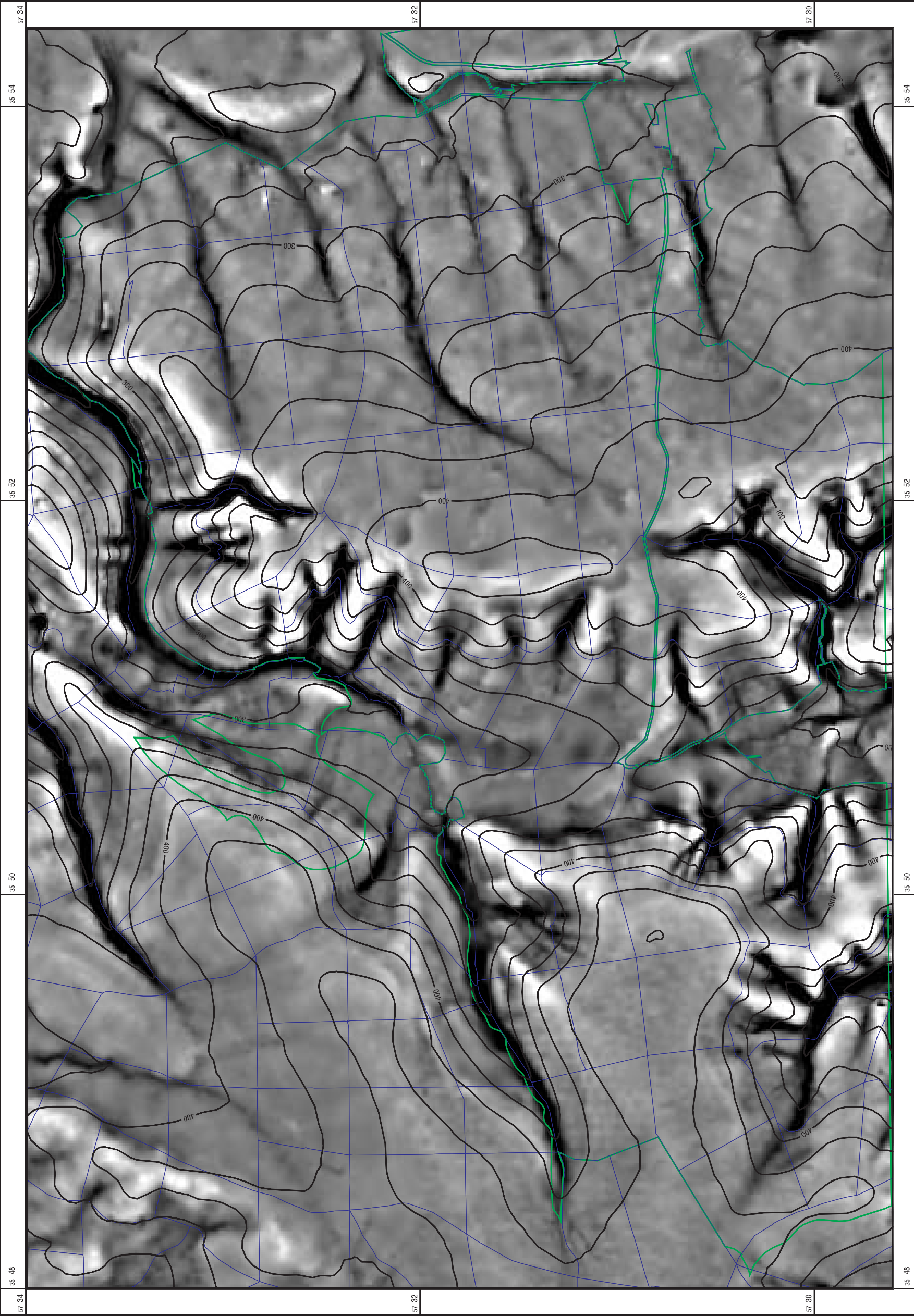
Exponiertheit weiterer Umgebung
 im Validierungsgebiet



Forstliche Abteilungen
 Validierungsgebiet

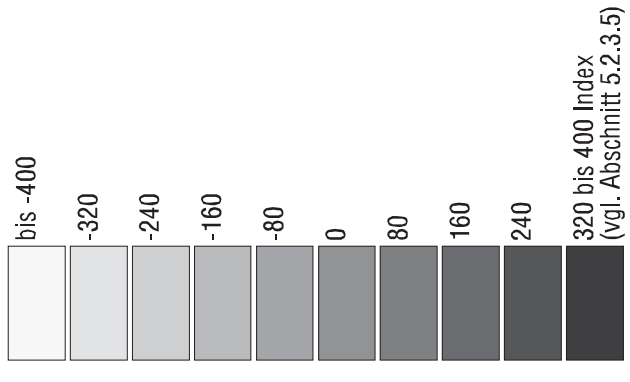
Höhendaten: DGM5 des LGN Hannover
 Bezug über NFP Wollenbüttel
 laut Verwaltungsvereinbarung vom 23.02.95

Maßstab 1 : 20000
 R. Schulz 2003



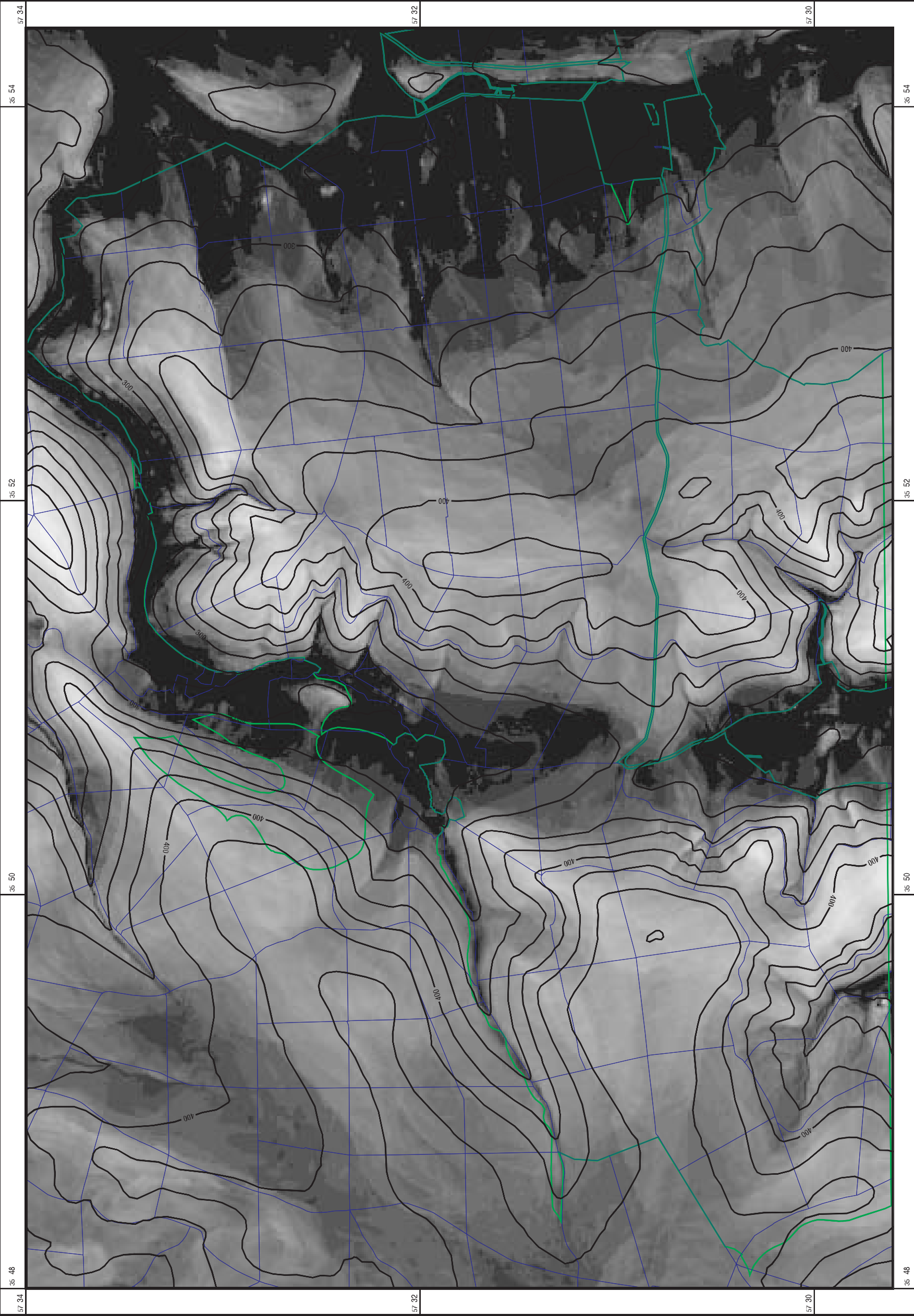
Karte 1b
Informationslage
EXPUSUMNAH

Exponiertheit näherer Umgebung
im Validierungsgebiet



Höhendaten: DGM5 des LGN Hannover
Bezug über NFP Wollenbüttel
laut Verwaltungsvereinbarung vom 23.02.95

Maßstab 1 : 20000
R. Schulz 2003

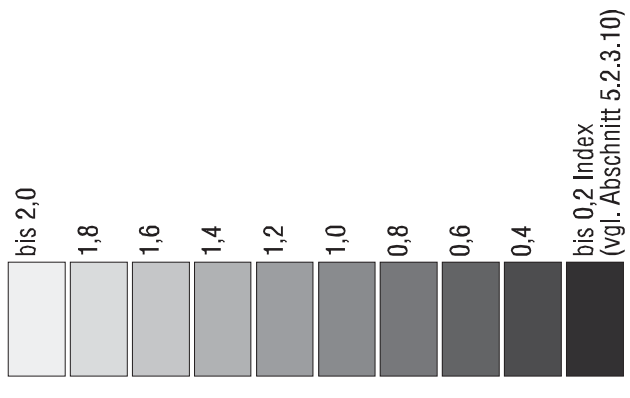


Karte 1c

Informationslage

FLI-IL

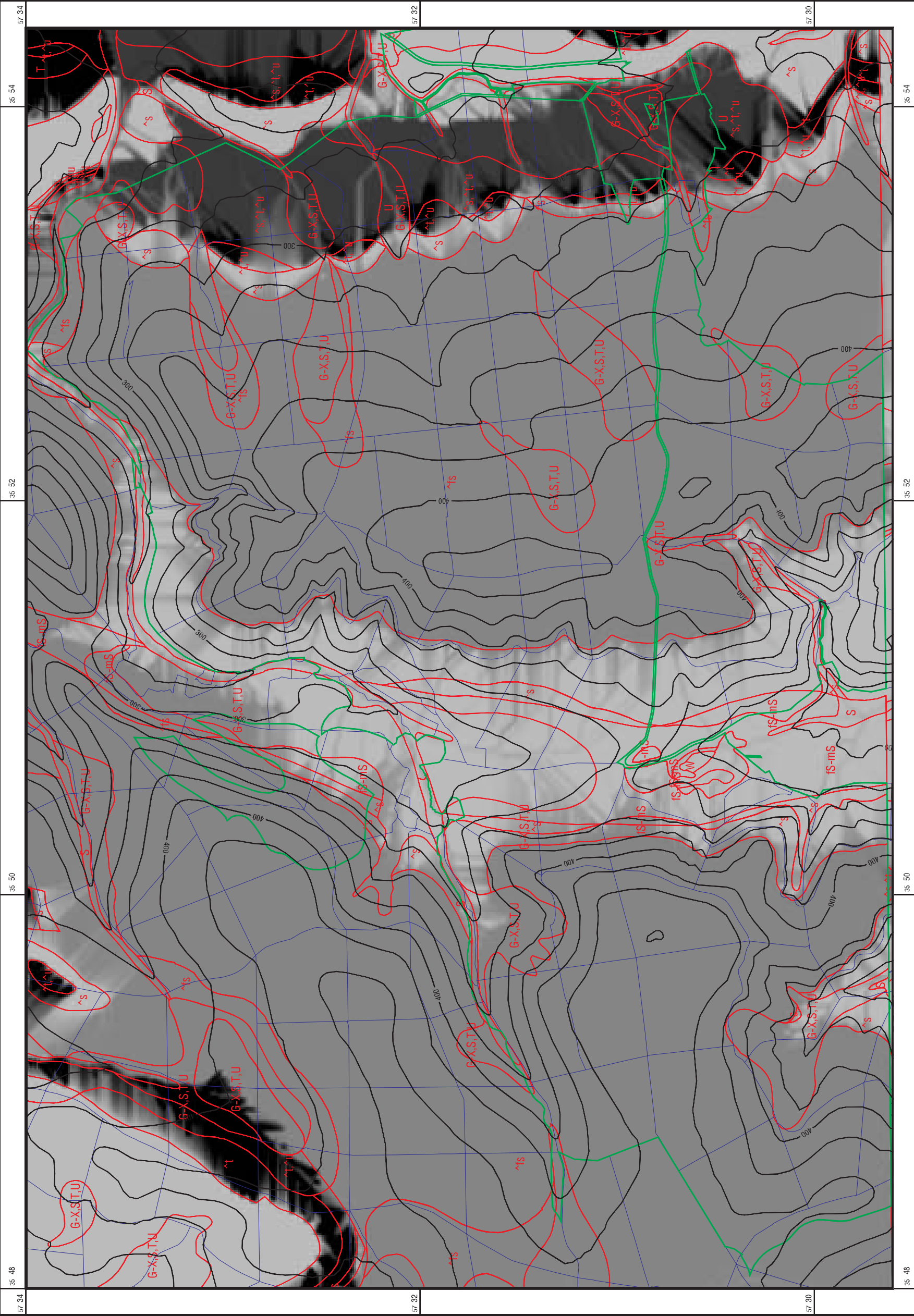
Form-Lage-Index
im Validierungsgebiet



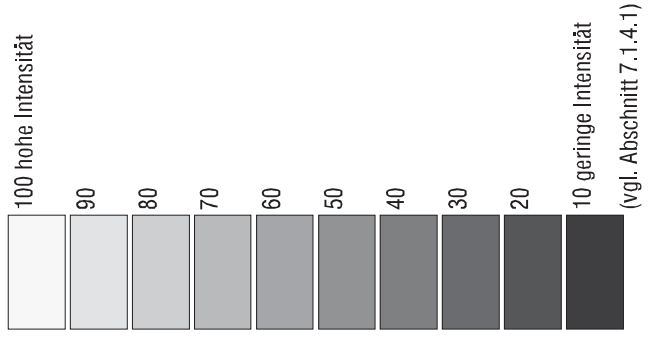
Höhendaten: DGM5 des LGN Hannover
Bezug über NFP Wolfenbüttel
laut Verwaltungsvereinbarung vom 23.02.95

Maßstab 1 : 20000

R. Schulz 2003



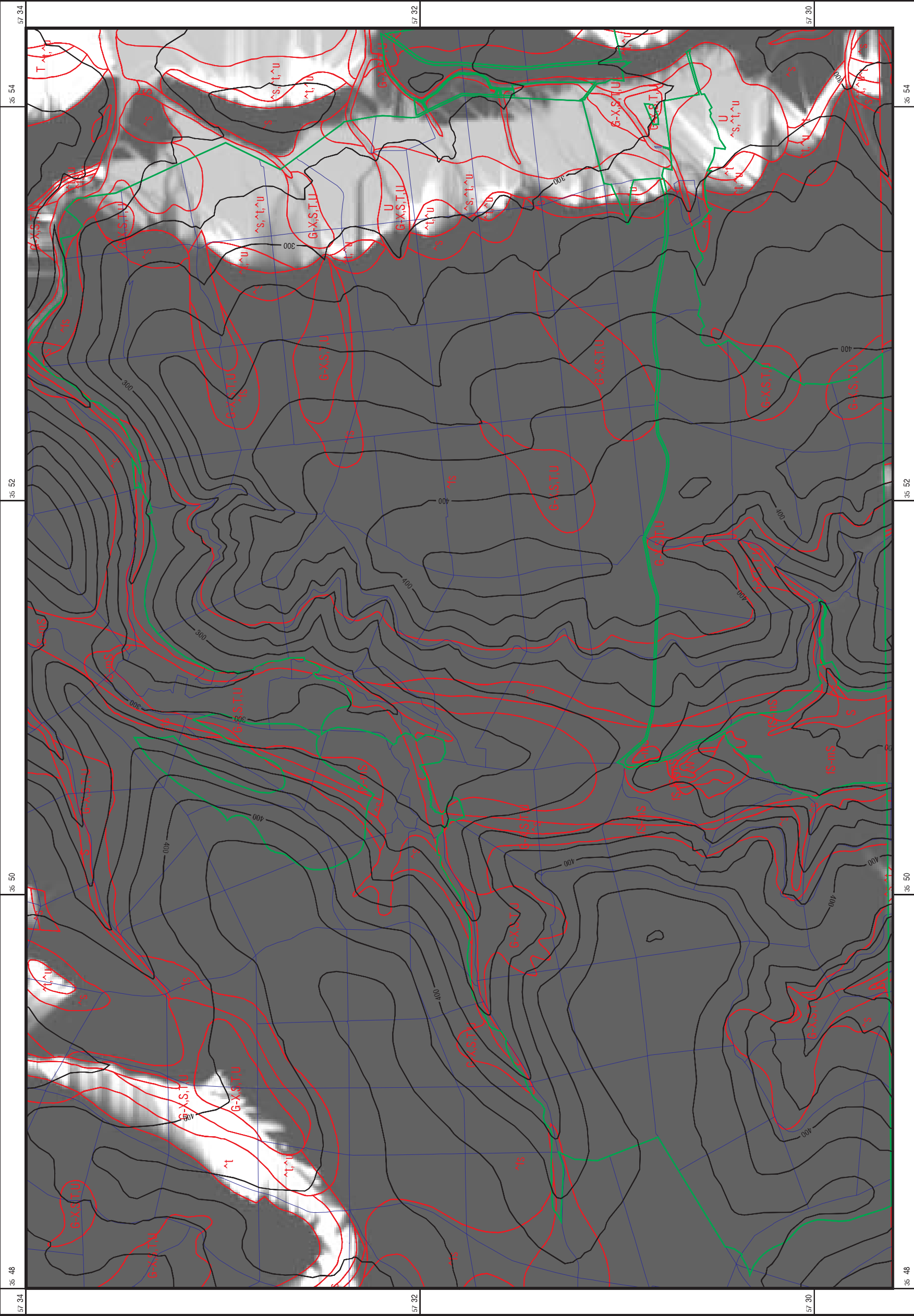
Karte 2a
Ableitung aus GK25:
Informationslage DEC-S-INT
Intensität "Sandgehalt" im EZG
 im Validierungsgebiet



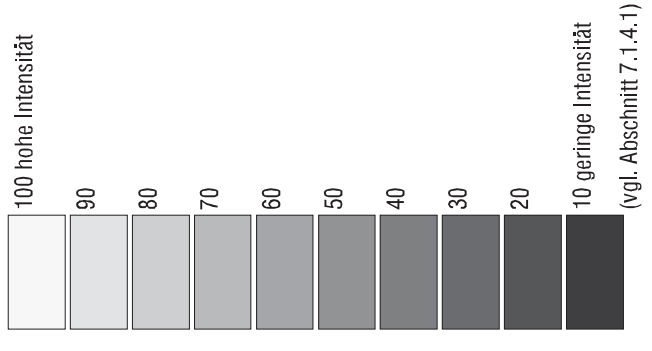
- Forstliche Abteilungen
- Validierungsgebiet
- GK25, Petrographie der 1./2. Schicht

Höhendaten: DGM5 des LGH Hannover
 Bezug über IHP-Wertenbittel
 Bau-Verwaltungsvereinbarung vom 23.02.95
 Geologische Daten: GK25, Hrsg. LGH Hannover.
 Darstellung auf der Grundlage von Daten des Niedersächsischen
 Bodeninformationssystems NIBIS, mit Erlaubnis des Niedersächsischen
 Landesamtes für Bodenforschung Hannover.

Maßstab 1 : 20000
 R. Schulz 2003



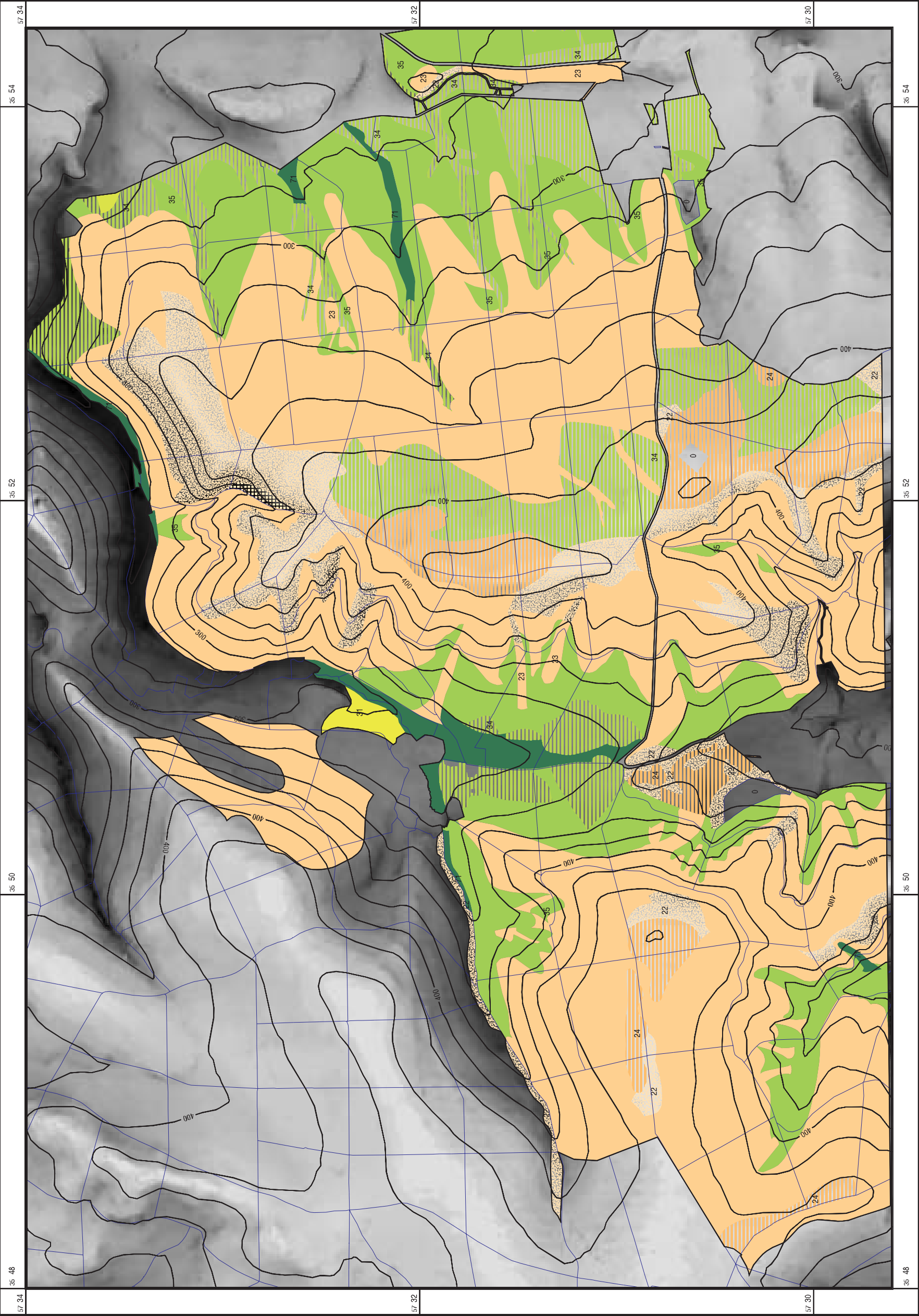
Karte 2b
Ableitung aus GK25:
Informationslage DEC-T-INT
Intensität "Tongehalt" im EZG
 im Validierungsgebiet



- Forstliche Abteilungen
- Validierungsgebiet
- GK25, Petrographie der 1./2. Schicht

Höhendaten: DGM5 des LGH Hannover
 Bezug über IHP-Wertenbittel
 Bau-Verwaltungsvereinbarung vom 23.02.95
 Geologische Daten: GK25, Hrsg. LGH Hannover.
 Darstellung auf der Grundlage von Daten des Niedersächsischen
 Bodeninformationssystems NIBIS, mit Erlaubnis des Niedersächsischen
 Landesamtes für Bodenforschung Hannover.

Maßstab 1 : 20000
 R. Schulz 2003



Karte 3a
Standortkomponente
Substrat / Lagerung
 kartiert im Validierungsgebiet

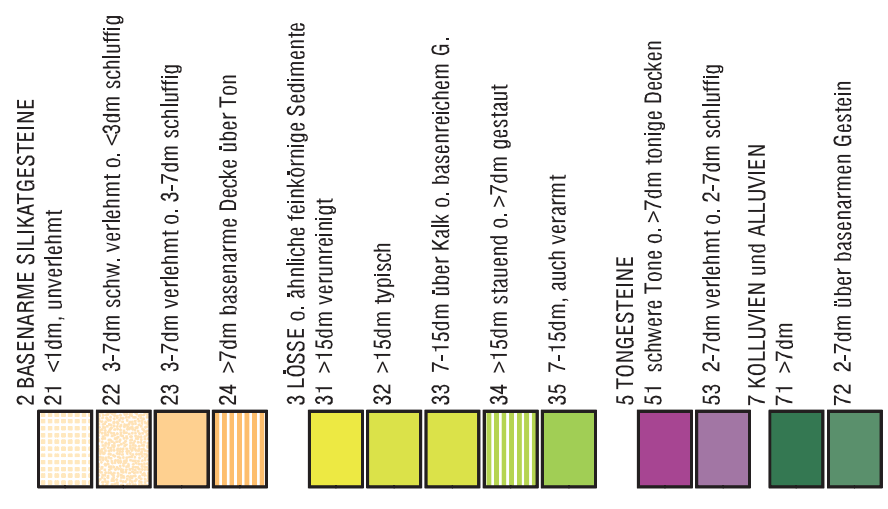
- | | |
|--|---|
| | 2 BASENARME SILIKATGESTEINE |
| | 21 <10dm, unverleht |
| | 22 3-7dm schw. verlehmt o. <3dm schluffig |
| | 23 3-7dm verlehmt o. 3-7dm schluffig |
| | 24 >7dm basenarme Decke über Ton |
| | 3 LÖSSE o. ähnliche feinkörnige Sedimente |
| | 31 >15dm verunreinigt |
| | 32 >15dm typisch |
| | 33 7-15dm über Kalk o. basenreichem G. |
| | 34 >15dm stauend o. >7dm gestaut |
| | 35 7-15dm, auch verarmt |
| | 5 TONGESTEINE |
| | 51 schwere Tone o. >7dm tonige Decken |
| | 53 2-7dm verlehmt o. 2-7dm schluffig |
| | 7 KOLLUVIEN und ALLUVIEN |
| | 71 >7dm |
| | 72 2-7dm über basenarmen Gestein |

(nach GÖS 1997/2000, verändert)
 (Nur kartierte oder modellierte
 Klassen verzeichnet, vgl. Tab. 3)

Forstliche Abteilungen
 Hintergrund: Informationslage EXP210, vgl. Karte 1a.
Maßstab 1 : 20000
 R. Schulz 2003

Karte 3b

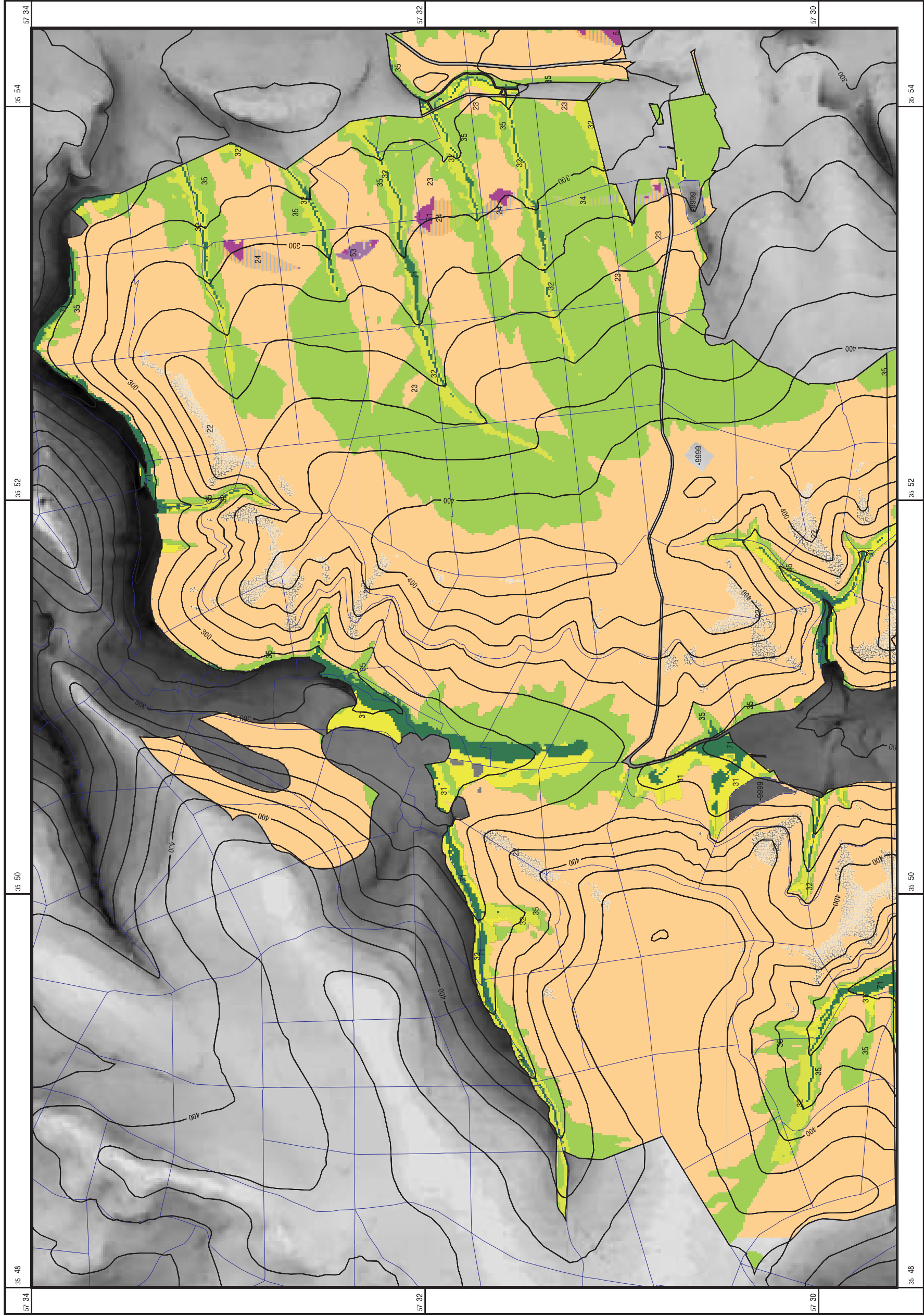
**Standortkomponente
Substrat / Lagerung**
modelliert im Validierungsgebiet



Hintergrund: Informationslage EXP210, vgl. Karte 1a.

Maßstab 1 : 20000

R. Schulz 2003



Karte 4a

Standortkomponente

Bodenfeuchtigkeit u. Geländeform

kartiert im Validierungsgebiet

Schmale TÄLER:

- 1 tief eingeschnitten, sehr frisch
- 1.0. 2 tief eingeschnitten, frisch
- 3 mäßig eingeschnitten, sehr frisch
- 4 mäßig eingeschnitten, frisch
- 6 andauernd nab - quellig (Sonders.)

Grundwasserbeeinflusste TÄLER:

- 5 sehr breit, grundfeucht, GWS 60-100cm
- 7 sehr breit, grundfrisch, GWS 100-140cm
- 8 sehr frisch, GWS >150cm

EBENE LAGEN, PLATEAUS, breite RÜCKEN

- 9 frisch / vorratsfrisch
- (10 mäßig / kaum frisch)
- (11 mäßig trocken)

STAUWASSERSTÄNDE

- (12 stark wechselfeucht)
- 13 mäßig wechselfeucht
- 14 schwach wechselfeucht
- (15 staufeucht)

(16 BERGLANDMOORE)

SCHATTHÄNGE

- 17 wechselfeucht, hangfeucht
- 18 hangfrisch, nachhaltig frisch
- 19 frisch, vorrats- / staufrisch
- 20 mäßig frisch - mäßig sommertrocken

SONNHÄNGE

- 21 wechselfeucht, hangfeucht
- 22 hangfrisch, nachhaltig frisch
- 23 frisch, vorrats- / staufrisch
- 24 mäßig / kaum frisch
- (25 mäßig sommertrocken)

RÜCKEN (KÄMME, KUPPEN)

- 26 frisch - mäßig sommertrocken
- (oder 27 mäßig trocken)

STELHÄNGE

- 28 mäßig frisch - mäßig trocken
- (oder 29 trocken)

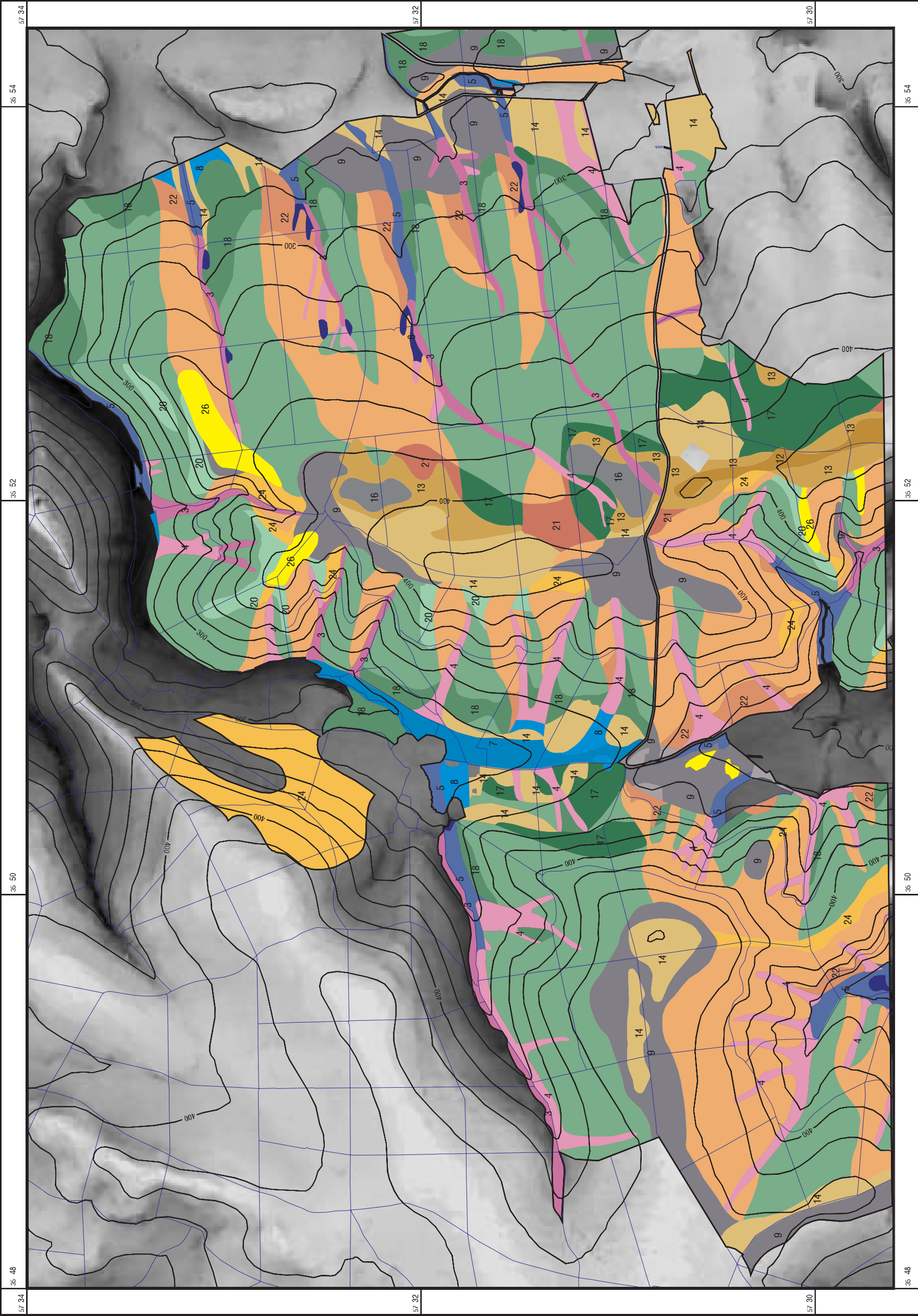
(-) nicht modelliert bzw. differenziert.
Nach GÖS 1997/2000, vgl. Tab. 5

Forstliche Abteilungen

Hintergrund: Informationslage EXP210, vgl. Karte 1a.

Maßstab 1 : 20000

R. Schulz 2003



Karte 4b

Standortkomponente

Bodenfeuchtigkeit u. Geländeform

modelliert im Validierungsgebiet

Schmale TÄLER:

- 1 tief eingeschnitten, sehr frisch
- 1 o. 2 tief eingeschnitten, frisch
- 3 mäßig eingeschnitten, sehr frisch
- 4 mäßig eingeschnitten, frisch
- 6 andauernd naß - quellig (Sonders.)

Grundwasserbeeinflusste TÄLER:

- 5 sehr breit, grundfeucht, GWS 60-100cm
- 7 sehr breit, grundfrisch, GWS 100-140cm
- 8 sehr frisch, GWS >150cm

EBENE LAGEN, PLATEAUS, breite RÜCKEN

- 9 frisch / vorratsfrisch
- (10 mäßig / kaum frisch)
- (11 mäßig trocken)

STAUWASSERSTÄNDE

- (12 stark wechselfeucht)
- 13 mäßig wechselfeucht
- 14 schwach wechselfeucht
- (15 staufeucht)
- (16 BERGLANDMOORE)

SCHATTHÄNGE

- 17 wechselfeucht, hangfeucht
- 18 hangfrisch, nachhaltig frisch
- 19 frisch, vorrats- / staufrisch
- 20 mäßig frisch - mäßig sommertrocken

SONNHÄNGE

- 21 wechselfeucht, hangfeucht
- 22 hangfrisch, nachhaltig frisch
- 23 frisch, vorrats- / staufrisch
- 24 mäßig / kaum frisch
- (25 mäßig sommertrocken)

RÜCKEN (KÄMME, KUPPEN)

- 26 frisch - mäßig sommertrocken
- (oder 27 mäßig trocken)

STELHÄNGE

- 28 mäßig frisch - mäßig trocken
- (oder 29 trocken)

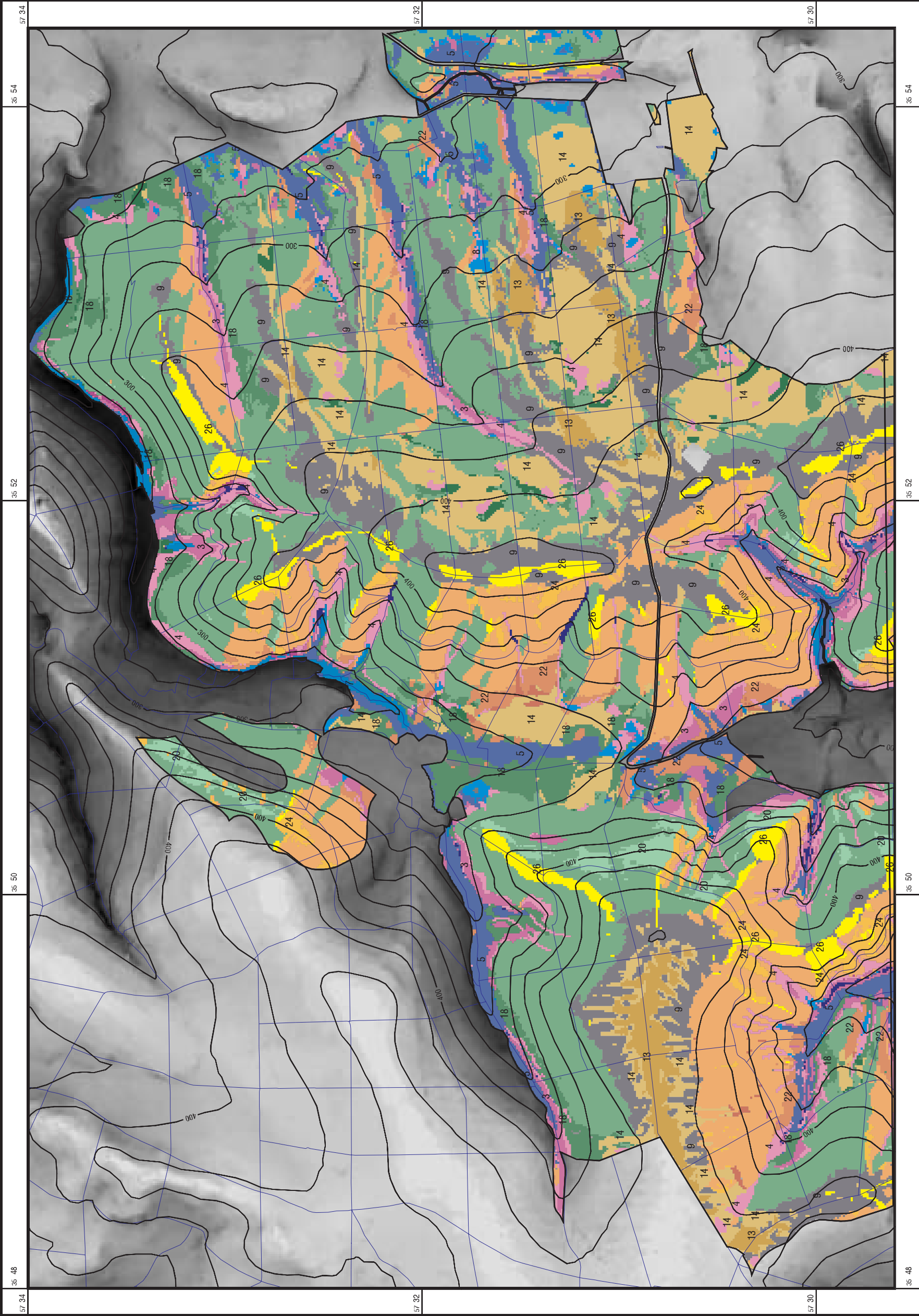
() - nicht modelliert bzw. differenziert.
Nach GÖS 1997/2000, vgl. Tab. 5

Forstliche Abteilungen

Hintergrund: Informationslage EXP210, vgl. Karte 1a.

Maßstab 1 : 20000

R. Schulz 2003



Lebenslauf

Name	Rainer Schulz	
Geburtstag, Geburtsort	19.09.64, Hameln	
Staatsangehörigkeit	deutsch	
Familienstand	verheiratet, zwei Kinder	
Schulbildung	1971 – 1975	Grundschule Exten bei Rinteln
	1975 – 1977	Orientierungsstufe Rinteln
	1977 – 1984	Gymnasium Rinteln
		Abschluß Abitur Juni 1984
Studium	04/86	Beginn des Geographiestudiums, Universität Göttingen
	04/88	Vordiplom Geographie
	10/91 – 07/92	Anfertigung Diplomarbeit
	10/92	Hauptdiplom Geographie Nebenfächer Geologie u. Landwirtschaftl. Bodenkunde
Tätigkeiten Arbeitsverhältnisse	01/89 – 10/92	Wiss. Hilfskraft ohne Examen in der Kartensammlung des Geogr. Instituts
	Frühjahr 1993	Werkvertragstätigkeiten Inst. für Forstliche Biometrie und Informatik
	06/93 – 09/97	Wiss. Hilfskraft mit Examen Inst. für Forstliche Biometrie und Informatik
	10/97 – heute	Wiss. Angestellter Inst. für Forstliche Biometrie und Informatik
	06/99 – heute	Wiss. Angestellter Forschungszentrum Waldökosysteme an der Universität Göttingen