

**Waldkonversion und Bodendegradation in
Bergnebelwaldgebieten Guatemalas (Alta Verapaz)**

Ein Beitrag zur Biodiversitätsforschung in sensiblen tropischen Ökosystemen

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

vorgelegt von

Michael Markussen

aus Niebüll/Nordfriesland

Göttingen 2003

D 7

Referent: Prof. Dr. Gerhard Gerold

Korreferent: Prof. Dr. Michael Mühlenberg

Tag der mündlichen Prüfung: 03. November 2003

Inhaltsverzeichnis

INHALTSVERZEICHNIS.....	I
VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN.....	IV
VERZEICHNIS DER TABELLEN.....	VI
VERZEICHNIS DER KARTEN.....	IX
VERZEICHNIS DER FOTOS.....	IX
ABKÜRZUNGEN.....	X
VORWORT UND DANKSAGUNG.....	XIX
1. EINLEITUNG.....	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung.....	2
1.2 Forschungsstand.....	3
1.3 Bezug zum Rahmenthema des Graduiertenkollegs.....	4
2. HINTERGRUND UND THEORETISCHE GRUNDLAGEN.....	7
2.1 Begriffsdefinitionen.....	7
2.2 Ökologische Aspekte des Schutzes von Biodiversität und Bodendegradation.....	8
2.3 Die Rolle des Bodens für die Biodiversität.....	11
2.4 Institutionelle Zusammenarbeit.....	14
2.4.1 UPROBON.....	14
2.4.1.1 Zielgruppe.....	14
2.4.1.2 Projektziele.....	14
2.4.1.3 Teilprojekte.....	15
2.4.2 Proyecto Eco Quetzal.....	15
2.4.3 Weitere Institutionen.....	16
2.5 Die globale Bedeutung der Bergnebelwälder.....	17
3. GEOÖKOLOGISCHE RAHMENBEDINGUNGEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET.....	21
3.1 Einführung in das Untersuchungsgebiet und seine aktuelle Problematik.....	21
3.2 Geographische Lage und naturräumliche Einordnung.....	22
3.3 Makro- und Mesoklima.....	24
3.4 Geologie und Geomorphologie.....	24
3.4.1 Geologie Guatemalas.....	25
3.4.2 Topographie der Sierra Yalijux.....	26

3.5 Vegetation.....	29
3.5.1 Vegetationszonierung Guatemalas	29
3.5.2 Vegetation der Sierra Yalijux	31
3.6 Land- und Forstnutzung	31
3.7 Böden	34
3.8 Fauna	34
3.9 Bevölkerung der Sierra Yalijux	35
4. HISTORISCHE GRUNDLAGEN, HEUTIGE LANDNUTZUNG UND NATURSCHUTZ IN GUATEMALA.....	36
4.1 Kurzer Überblick über die Siedlungsgeschichte der Maya.....	36
4.2 Landnutzung der Maya.....	37
4.2.1 Kolonisation.....	38
4.2.2 Landrodung.....	39
4.2.3 Anbau und Bewirtschaftung – Das <i>milpa</i> -System.....	40
4.3 Naturschutz in Guatemala	41
5. MATERIAL UND METHODIK DER UNTERSUCHUNG.....	46
5.1 Auswahl der Untersuchungsflächen und Lage der Standorte.....	46
5.2 Datenerhebung und Bodenaufnahme	47
5.3 Methodik der Laboranalytik.....	48
5.3.1 Methodik der bodenphysikalischen Parameter.....	48
5.3.2 Methodik der bodenchemischen Parameter.....	49
5.3.3 Methodik des bodenbiologischen Parameters.....	51
5.3.4 Altersbestimmung: ¹⁴ C-Datierung.....	53
5.4 Methodik der mikroklimatischen Messungen.....	53
5.5 Statistische Auswertung und Software.....	54
5.6 Luftbild- und Satellitenbildauswertung.....	54
6. ERGEBNISSE UND IHRE BEWERTUNG.....	55
6.1 Pedologische Ergebnisse.....	56
6.1.1 Bodenphysikalische Parameter	56
6.1.2 Bodenchemische Parameter	61
6.1.2.1 pH und Leitfähigkeit	61
6.1.2.2 Kohlenstoff, Stickstoff und C/N-Verhältnis.....	63

6.1.2.3 Totalgehalte	67
6.1.2.4 Effektive Kationenaustauschkapazität	72
6.1.2.5 Phosphor	75
6.1.3 Bodenbiologische Parameter	81
6.1.4 Bodenklassifikation der vorkommenden Bodentypen.....	86
6.1.5 Bodenkundliche Besonderheiten	88
6.1.5.1 Bodengenese und Bodenumbildung.....	88
6.1.5.2 Subrosionserscheinungen.....	90
6.2 Waldkonversion	91
6.2.1 Waldkonversion in Guatemala.....	91
6.2.2 Ursachen der Waldrodung.....	97
6.2.3 Waldkonversion im Projektgebiet	100
6.3 Mikroklimatische Ergebnisse	107
6.3.1 Luft- und Bodentemperatur	107
6.3.2 Absolute und relative Luftfeuchte, Taupunkt.....	112
6.3.3 Niederschlag	115
7. DISKUSSION DER ERGEBNISSE	117
7.1 Entwicklung der Waldkonversion.....	117
7.2 Pedologische Folgen der Entwaldung.....	121
7.3 Klimatische Aspekte	129
7.4 Ressource Boden in der Biodiversitätsstrategie.....	130
8. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK.....	132
9. ZUSAMMENFASSUNG	134
10. RESUMEN.....	137
11. SUMMARY	141
12. LITERATURVERZEICHNIS	143
13. KARTENVERZEICHNIS.....	165
14. EPILOG	166
15. ANHANG	168

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Abbildung 1:	Struktur des GRK 642 „Wertschätzung und Erhaltung von Biodiversität“	5
Abbildung 2:	Struktur innerhalb des Projektbereiches C „Probleme und Perspektiven der Erhaltung von Biodiversität in Guatemala“	5
Abbildung 3:	Die Bedeutung von bodenchemischen und bodenphysikalischen Parametern für Flora und Fauna im Nahrungsnetz.....	13
Abbildung 4:	Haupttypen der Bodendegradation und ihre Auswirkungen	13
Abbildung 5:	Körperdurchmesser (*Körperlänge) von Bodenorganismen im Vergleich zu Poren- und Partikeldurchmesser	52
Abbildung 6:	Der Weg des Radiokohlenstoffs in den Boden	53
Abbildung 7:	Interdependenzen zwischen Waldkonversion, Bodendegradation und Veränderung des Mikroklimas.	55
Abbildung 8:	Korngrößendiagramm aller Einzelproben.....	57
Abbildung 9:	Poren- und Korngrößenverteilung des Leitprofils 2, zweijährige Buschbrache (<i>guamil</i>), Chicacnab	59
Abbildung 10:	pH-Werte (CaCl ₂) in den unterschiedlichen Teilregionen des Untersuchungsgebietes	61
Abbildung 11:	Korrelation zwischen pH (CaCl ₂) und austauschbarem Al ³⁺	62
Abbildung 12:	Korrelation pH (CaCl ₂) und Basensättigung.....	62
Abbildung 13:	pH (CaCl ₂) und Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Landnutzung in Chelemhá (0-30 cm).....	63
Abbildung 14:	Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte in Chelemhá (0-30 cm)	64
Abbildung 15:	Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte in Chicacnab (Ah-Horizont).....	64
Abbildung 16:	Korrelation zwischen Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff.....	65
Abbildung 17:	Korrelation zwischen Gesamtkohlenstoff und effektiver Kationenaustauschkapazität	65
Abbildung 18:	Korrelation zwischen Gesamtkohlenstoff und C/N-Verhältnis.....	66
Abbildung 19:	C _t -Gehalte in den unterschiedlichen Teilregionen des Untersuchungsgebietes	66
Abbildung 20:	Kohlenstoffvorräte im Oberboden in Chelemhá (0-30 cm) [t/ha].....	67
Abbildung 21:	Nährstoffkonzentrationen in der Gemeinde Chelemhá im Oberboden (0-30cm)	68
Abbildung 22:	Eisen- und Aluminiumkonzentrationen auf Flächen in der Gemeinde Chelemhá im Oberboden (0-30cm)	69
Abbildung 23:	Mangan- und Phosphorkonzentrationen auf Flächen in der Gemeinde Chelemhá im Oberboden (0-30cm)	69
Abbildung 24:	KAK _{eff.} [mmol/100g Boden] im Oberboden (0-30cm) Chelemhá	72
Abbildung 25:	KAK _{eff.} [mmol/100g Boden] im Oberboden (0-30cm) Chicacnab.....	73
Abbildung 26:	Kationenaustauschkapazität in Chelemhá (0-30 cm)	74
Abbildung 27:	Kationenaustauschkapazität in Chelemhá (30-60 cm)	74
Abbildung 28:	Kationenaustauschkapazität in Chicacnab (0-30 cm).....	74
Abbildung 29:	Kationenaustauschkapazität in Chicacnab (30-60 cm).....	75
Abbildung 30:	Pflanzenverfügbare und totaler Phosphorgehalt im Oberboden in Chelemhá (0-30 cm) in Abhängigkeit der Landnutzung.....	76
Abbildung 31:	Prozentualer Anteil vom pflanzenverfügbaren am totalen Phosphorgehalt im Oberboden in Chelemhá in Abhängigkeit der Landnutzung.....	76

Abbildung 32: Pflanzenverfügbare und totaler Phosphorgehalt im Unterboden (30-60 cm) in Chelemhá in Abhängigkeit der Landnutzung.....	77
Abbildung 33: Pflanzenverfügbare und totaler Phosphorgehalt im Oberboden (0-30 cm) in Chicacnab in Abhängigkeit der Landnutzung.....	77
Abbildung 34: Pflanzenverfügbare und totaler Phosphorgehalt im Unterboden (30-60 cm) in Chicacnab in Abhängigkeit der Landnutzung.....	78
Abbildung 35: Anteile von verfügbarem Phosphor und Gesamtgehalt Phosphor in mg/kg Boden.....	79
Abbildung 36: Zelluloseabbau [mg/d] in verschiedenen Landnutzungssystemen in Chelemhá.....	82
Abbildung 37: Zelluloseabbau und pH-Wert im Boden.....	83
Abbildung 38: Zelluloseabbau und Kohlenstoffgehalt.....	83
Abbildung 39: Zelluloseabbau und Stickstoffgehalt.....	84
Abbildung 40: Zelluloseabbau und Aluminium-Sättigung der KAK_{eff}	84
Abbildung 41: Zelluloseabbau und C/N-Verhältnis.....	84
Abbildung 42: Zelluloseabbau und Bodentemperatur 14.04.02.....	85
Abbildung 43: Zelluloseabbau und Bodenfeuchte 14.04.02.....	85
Abbildung 44: Zelluloseabbau und Bodentemperatur 12.05.02.....	86
Abbildung 45: Zelluloseabbau und Bodenfeuchte 12.05.02.....	86
Abbildung 46: Leitprofil 2 mit fossilem Ah-Horizont in 48-52 cm Tiefe.....	89
Abbildung 47: Waldfläche in Guatemala, 1950-2000.....	92
Abbildung 48: Verteilung der Landnutzungsklassen im Untersuchungsgebiet.....	101
Abbildung 49: Monatsmitteltemperatur in 0,5 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten.....	108
Abbildung 50: Monatsmitteltemperatur in 2,0 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten.....	108
Abbildung 51: Monatliche maximale Lufttemperatur in 2,0 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten.....	109
Abbildung 52: Mittlere monatliche Bodentemperatur in 0,1 m Tiefe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten.....	110
Abbildung 53: Maximale monatliche Bodentemperatur in 0,1 m Tiefe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten.....	110
Abbildung 54: Tageszeitlicher Verlauf der Lufttemperatur in 0,5 m Höhe am 01.08.2002, in unterschiedlichen Habitaten.....	111
Abbildung 55: Tageszeitlicher Verlauf der Bodentemperatur in 0,1 m Tiefe am 01.08.2002, in unterschiedlichen Habitaten.....	112
Abbildung 56: Minimalwerte der relativen Luftfeuchte in 2,0 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten.....	113
Abbildung 57: Maximalwerte der relativen Luftfeuchte in 2,0 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten.....	113
Abbildung 58: Mittlere relative Luftfeuchte in 2,0 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten.....	114
Abbildung 59: Tageszeitlicher Verlauf der Luftfeuchte in 2,0 m Höhe am 01.08.2002, in unterschiedlichen Habitaten.....	114

Abbildung 60: Niederschläge im Vergleich: <i>milpa</i> -System und Sekundärwald-Bestandsniederschlag, März 2002 bis August 2003	116
Abbildung 61: Niederschläge im Vergleich in sieben verschiedenen Zeiträumen: <i>milpa</i> -System, Sekundärwald und Primärwald	116
Abbildung 62: Abholzungsraten auf unterschiedlichen Bodenklassen	118
Abbildung 63: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 1, Primärer Bergnebelwald.....	201
Abbildung 64: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 2, Guamil seit 2 Jahren	201
Abbildung 65: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 3, <i>milpa</i> 15 Jahre	201
Abbildung 66: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 4, descanso	202
Abbildung 67: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 5, <i>milpa</i> 60 Jahre	202
Abbildung 68: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 6, <i>milpa</i> 25 Jahre	202
Abbildung 69: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 7, Primärer Bergnebelwald.....	203
Abbildung 70: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 8, <i>milpa</i> 100 Jahre	203
Abbildung 71: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 9, <i>milpa</i> 25 Jahre	203
Abbildung 72: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 10, Primärer Bergnebelwald.....	204
Abbildung 73: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 11, Sekundärwald.....	204
Abbildung 74: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 12, Sekundärwald 7 Jahre.....	204
Abbildung 75: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 13, <i>milpa</i>	205
Abbildung 76: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 14, <i>milpa</i>	205
Abbildung 77: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 15, <i>milpa</i>	205
Abbildung 78: Minimale Lufttemperatur in 2 m Höhe, März 2002 bis August 2003.....	206
Abbildung 79: Maximale Lufttemperatur in 2 m Höhe, März 2002 bis August 2003	206
Abbildung 80: Minimale Bodentemperatur in 0,1 m Tiefe, März 2002 bis August 2003.....	207
Abbildung 81: Maximale Bodentemperatur in 0,1 m Tiefe, März 2002 bis August 2003	207
Abbildung 82: Dreidimensionale Darstellung des Untersuchungsgebietes der Sierra Yalijux mit Blick nach Nordosten.....	211

VERZEICHNIS DER TABELLEN

Tabelle 1: Abholzung und Biodiversität in Guatemala und Deutschland (Quelle: WORLD BANK 2001).....	6
Tabelle 2: Globale und kontinentale Verbreitung der Acker-, Weide- und Waldflächen, der degradierten Böden sowie deren prozentuale Anteile an den jeweiligen Gesamtflächen in Mio. ha.....	12
Tabelle 3: Umstellung des Maisanbaus auf bereits gerodeten Flächen in der Sierra Aj Poop B'atz'.....	15
Tabelle 4: Potentielle Agrodiversität: Kultur-, Nutz- und Zierpflanzen im experimentellen Garten der Reserva Privada Chelemhá	32
Tabelle 5: Anzahl der Vertebraten in Guatemala.....	34
Tabelle 6: Landverteilung in Guatemala 1979.....	39
Tabelle 7: Zwei Arten von Brandrodungsfeldbau in Mexiko	39
Tabelle 8: Schutzgebiete in Guatemala nach Schutz-Kategorien	41
Tabelle 9: Höhe der Zahlungen im Rahmen des Aufforstungsprojektes	44
Tabelle 10: Höhe der Zahlungen im Rahmen der Bewirtschaftung natürlicher Wälder.....	44

Tabelle 11: Höhe der Zahlungen im Rahmen des Schutzes natürlicher Wälder.....	44
Tabelle 12: Flächen der falschen Zeitreihen in Chelemhá und die Codierung der jeweiligen Bodenmischproben	47
Tabelle 13: Flächen der falschen Zeitreihen in Chicacnab und die Codierung der jeweiligen Bodenmischproben	47
Tabelle 14: Einteilung der Porengrößenbereiche nach dem Porendurchmesser und der Wasserspannung (cm Wassersäule bzw. pF-Wert).....	49
Tabelle 15: Einstufung der Rohdichte trocken	58
Tabelle 16: Normale Konzentrationen und Grenzwerte von Schwermetallen in Böden	70
Tabelle 17: Kennwerte der Mineralstoffversorgung von Böden Mitteleuropas	71
Tabelle 18: Gehaltsklassen für Phosphor (P_2O_5), Kalium (K_2O) und Magnesium in mineralischen Ackerböden aufgrund der Bodenuntersuchung in mg/100g Boden.....	80
Tabelle 19: Vorgeschlagene Düngermengen aufgrund der P-Bray-1-Gehalte und erwartete Erträge des Maisanbaus	80
Tabelle 20: Ergebnisse der ^{14}C -Bestimmung.....	89
Tabelle 21: Bodenparameter im fossilen Ah-Horizont des Leitprofils 2.....	89
Tabelle 22: Abschätzung der Abholzung und Waldfläche in Guatemala von 1950 bis 2000	95
Tabelle 23: Direkte Ursachen von Waldrodung in Guatemala, 1993-1997	97
Tabelle 24: Veränderungen der Landnutzung in Guatemala, 1979-1999	98
Tabelle 25: Jährliche Waldrodung im Maya-Biosphärenreservat, 1986-1997, in [%]	98
Tabelle 26: Grenzwerte für den Gesamt-P-Gehalt bei unterschiedlichem N_t -Gehalt in Böden Kameruns.....	123
Tabelle 27: C- und N-Gehalte in tropischen und subtropischen Bergnebelwäldern.....	125
Tabelle 28: Mittelwerte und Standardabweichung verschiedener Parameter in <i>Alnus</i> Plantage (AP), Sekundärwald (SF) und Primärwald (PF) in Kolumbien.....	125
Tabelle 29: Chemische Eigenschaften eines Bergnebelwaldes in Kolumbien in <i>Alnus</i> Plantage (AP), Sekundärwald (SF) und Primärwald (PF) in Kolumbien.....	126
Tabelle 30: Übersicht der Konzentrationen von NH_4 , NO_3 , PO_4 und Kohlenstoff in <i>Alnus</i> Plantage (AP), Sekundärwald (SF) und Primärwald (PF) in Kolumbien	126
Tabelle 31: Auswahl tropischer Bergnebelwälder mit verschiedenen Bodentypen und ihren chemischen Eigenschaften.....	128
Tabelle 32: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 1 Primärer Bergnebelwald, ohne Nutzung.....	168
Tabelle 33: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 2, Guamil, Buschbrache.....	169
Tabelle 34: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 3, <i>milpa</i> , vor ca. 15 Jahren gerodet	170
Tabelle 35: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 4, descanso, für Reforestation.....	171
Tabelle 36: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 5, <i>milpa</i> . utz'uuch, vor ca. 60 Jahren gerodet	172
Tabelle 37: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 6, <i>milpa</i> , gerodet vor 25 Jahren.....	173

Tabelle 38: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 7, Primärer Bergnebelwald	174
Tabelle 39: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 8, <i>milpa</i> , 100 Jahre bewirtschaftet	175
Tabelle 40: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 9, Kiefernauaufforstung.....	176
Tabelle 41: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP10 Primärer Bergnebelwald, ohne Nutzung.....	177
Tabelle 42: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 11, Sekundärwald, 10 Jahre	178
Tabelle 43: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 12, junger Sekundärwald	179
Tabelle 44: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 13, <i>milpa</i>	180
Tabelle 45: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 14, <i>milpa</i>	181
Tabelle 46: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 15, <i>milpa</i> . Xucaneb	182
Tabelle 47: Lagerungsdichte und Feuchtegehalt der Leitprofilhorizonte	183
Tabelle 48: Korngrößenverteilung der Proben 5796-5855 [Angaben in %].....	184
Tabelle 49: Korngrößenverteilung der Proben 5856-5911 [Angaben in %].....	185
Tabelle 50: pH-Werte und Leitfähigkeit der Proben 5796-5861	186
Tabelle 51: pH-Werte und Leitfähigkeit der Proben 5862-5911	187
Tabelle 52: Effektive Kationenaustauschkapazitäten der Proben 5796-5840.....	188
Tabelle 53: Effektive Kationenaustauschkapazitäten der Proben 5841-5885.....	189
Tabelle 54: Effektive Kationenaustauschkapazitäten der Proben 5886-5911.....	190
Tabelle 55: Werte der Totalgehalte der Proben 5796-5840 in mg/kg Boden	191
Tabelle 56: Werte der Totalgehalte der Proben 5841-5885 in mg/kg Boden	192
Tabelle 57: Werte der Totalgehalte der Proben 5886-5911 in mg/kg Boden	193
Tabelle 58: Nutzbare Feldkapazitäten des effektiven Wurzelraumes der Leitprofile.....	194
Tabelle 59: Gesamtporenvolumen und Substanzvolumen der Leitprofilhorizonte	195
Tabelle 60: Gegenüberstellung der totalen und verfügbaren Phosphordaten	196
Tabelle 61: Biologische Aktivität an verschiedenen Standorten	197
Tabelle 62: Biologische Aktivität an verschiedenen Standorten	198
Tabelle 63: Statistische Auswertung der Daten zur biologischen Aktivität, Teil A	199
Tabelle 64: Statistische Auswertung der Daten zur biologischen Aktivität, Teil B	200
Tabelle 65: Klimatische Minimumdaten im <i>milpa</i> -System	208
Tabelle 66: Klimatische Maximumdaten im <i>milpa</i> -System	208
Tabelle 67: Klimatische Mittelwerte im <i>milpa</i> -System	208
Tabelle 68: Klimatische Minimumdaten im <i>Sekundärwald</i>	209
Tabelle 69: Klimatische Maximumdaten im <i>Sekundärwald</i>	209
Tabelle 70: Klimatische Mittelwerte im <i>Sekundärwald</i>	209

Tabelle 71: Klimatische Minimumdaten im <i>Primärwald</i>	210
Tabelle 72: Klimatische Maximumdaten im <i>Primärwald</i>	210
Tabelle 73: Klimatische Mittelwerte im <i>Primärwald</i>	210

VERZEICHNIS DER KARTEN

Karte 1: Verteilung der Bergnebelwaldflächen in Lateinamerika	17
Karte 2: Globale Biodiversität: Artenzahlen der vaskulären Pflanzen	19
Karte 3: Gefährdete Regionen für die Biodiversität und <i>hotspots</i>	20
Karte 4: Lage der Untersuchungsgebiete	23
Karte 5: Geologie Mesoamerikas im geotektonischen Kontext.....	25
Karte 6: Geologische Karte von Guatemala.....	26
Karte 7: Höhenstufen im Projektgebiet „Reserva Privada Chelemhá“	27
Karte 8: Hangneigungsstufen im Projektgebiet „Reserva Privada Chelemhá“	28
Karte 9: Ökozonale Zonierung Guatemalas nach DE LA CRUZ (1983)	30
Karte 10: Landnutzungskapazität Guatemalas nach USDA-Methodologie.....	33
Karte 11: Karte der Schutzgebiete in Guatemala.....	43
Karte 12: Waldflächenverteilung und Landnutzung der Sierra Yalijux im Jahre 1986 (Klassifizierung nach Maximum Likelihood).....	103
Karte 13: Waldflächenverteilung und Landnutzung der Sierra Yalijux im Jahre 2000 (Klassifizierung nach Maximum Likelihood).....	104
Karte 14: Landnutzungsmuster der Sierra Yalijux im Jahr 1986 (Kanalkombination 4-5-3, 1986_4).....	105
Karte 15: Landnutzungsmuster der Region Chelemhá im Jahr 1986 (Kanalkombination 3-2-7, 1986)...	106

VERZEICHNIS DER FOTOS

Foto 1: Leitprofil 2 mit fossilem Ah-Horizont in 48-52 cm Tiefe	89
Foto 2: Subrosion im Leitprofil 5.....	90
Foto 3: Intakter Bergnebelwald in der Sierra Yalijux, Alta Verapaz	94
Foto 4: Traditionelle Brandrodung neuer Waldflächen	94
Foto 5: Gravierende Landschaftsveränderungen.....	94
Foto 6: Hohe Reliefenergie mit Habitatfragmenten in den höhergelegenen Kuppenbereichen.....	94
Foto 7: Ausschnitt der Region Reserva Privada Chelemhá, Luftbild vom 23. Januar 1964	211
Foto 8: Leitprofil 6, vor 25 Jahren gerodet, 10- bis 15-jährige Nutzung ohne Brache	212
Foto 9: Leitprofil 8, vor über 100 Jahren gerodet, seit 10 Jahren mit Bodenschutzmaßnahmen	212
Foto 10: Jährliche Brandrodung im Rahmen des milpa-Anbausystems (Chelemhá), März 2002	212
Foto 11: Traditionelle Maissaat in Chelemhá, April 2002.....	213
Foto 12: Mais als Lebensgrundlage für die Maya-Q'eqchi-Bevölkerung, September 2001.....	213
Fototafel 1: Flora in der Sierra Yalijux. Die Bergnebelwälder liefern für zahlreiche faunistische Gruppen deren Lebensräume.	214
Fototafel 2: Primärvegetation in den Bergnebelwaldregionen der Sierra Yalijux und unten links: Arrayan (<i>Myrica cerifera</i>) als alternative Einkommensquelle für die Herstellung von Naturkerzen.....	215

ABKÜRZUNGENAbkürzungen von Institutionen und Einrichtungen

AG	Arbeitsgemeinschaft
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMVEL	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
CARE	Cooperative for Assistance and Relief Everywhere, Inc.
CBD	Convention on Biological Diversity
CIAT	Centro de Investigación Agrícola Tropical
CONAMA	Comisión Nacional del Medio Ambiente de Guatemala
CONIC	Coordinadora Nacional Indígena y Campesina de Guatemala
CUNOR	Centro Universitario del Norte
DAAD	Deutscher Akademischer Austauschdienst
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GRK	Graduiertenkolleg
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit GmbH
INAB	Instituto Nacional de Bosques
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
NGO	Non-Governmental-Organization (Nichtregierungsorganisation)
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
PEQ	Proyecto Eco Quetzal
PINFOR	Programa de Incentivos Forestales
UNESCO	United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UPROBON	Union para Proteger el Bosque Nuboso
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
USDA	United States - Department of Agriculture
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderung
WTW	Wissenschaftlich-Technische Werkstätten GmbH

Chemische Symbole, Verbindungen und Substanzen

AL	Ammoniumlactat
Al	Aluminium
BaCl ₂	Bariumchlorid
BS	Basensättigung
C	Kohlenstoff
Ca	Calcium
CaCl ₂	Calciumchlorid
CaCO ₃	Calciumcarbonat
Cd	Cadmium
Co	Cobalt
C _{org.}	Organischer Kohlenstoff (Humus)
Cr	Chrom
Cu	Kupfer
Fe	Eisen

H	Wasserstoff
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
H ₃ O ⁺	Oxonium
HCl	Salzsäure
HClO ₄	Perchlorsäure
HF	Flusssäure
HNO ₃	Salpetersäure
K	Kalium
KAK _{eff.}	effektive Kationenaustauschkapazität
KAK _{pot.}	potenzielle Kationenaustauschkapazität
KCl	Kaliumchlorid
M	molar
Mg	Magnesium
MgCl ₂	Magnesiumchlorid
Mn	Mangan
Mo	Molybdän
N	Stickstoff
N	Normal
Na	Natrium
Na ₄ P ₂ O ₇	Natriumpyrophosphat
NaHCO ₃	Natriumhydrogencarbonat
Ni	Nickel
NH ₄	Ammonium
N _t	Gesamtstickstoff
P	Phosphor
Pb	Blei
pH	negativer dekadischer Logarithmus der H ₃ O ⁺ -Konzentrationen
S	Schwefel
Si	Silicium
Tl	Thallium
TOC	total organic carbon
Zn	Zink

Physikalische Bodenparameter

AgSt	Aggregatstabilität
A	mineralischer Oberbodenhorizont mit Akkumulation organischer Substanz
Ah	humoser A-Horizont
AhBv	Übergangshorizont zwischen Ah und Bv
B	Mineralischer Unterbodenhorizont
bro	Bröckelgefüge
Bv	durch Verwitterung verbraunter oder verlehmtter B-Horizont
BvCv	Übergangshorizont zwischen Bv und Cv, nach KUNTZE et al. (1994) Bv-Merkmale, aber Steingehalt über 75% oder Bv-Merkmale unterhalb der Definitionsgrenze
Cv	schwach verwittert, Übergang zum Muttergestein
DWI	Durchwurzelungsintensität
eGP	enge Grobporen
Einz.	Einzelkorngefüge
fAh	begrabener (fossiler) Ah-Horizont
fAhBv	begrabener (fossiler) AhBv-Horizont

fBv	begrabener (fossiler) Bv-Horizont
FK	Feldkapazität
FP	Feinporen
fS	Feinsand
fU	Feinschluff
FW	Feinwurzel
GPV	Gesamtporenvolumen
gS	Grobsand
gU	Grobschluff
koh	Kohärentgefüge
kru	Krümelfüge
Ld	Lagerungsdichte
LK	Luftkapazität
LP	Leitprofil
Ls4	stark sandiger Lehm
Lt3	mittel-toniger Lehm
Lts	sandig-toniger Lehm
M-Horizont	Mineralbodenhorizont, entstanden aus fortlaufend sedimentiertem holozänen Solummaterial
MP	Mittelporen
mS	Mittelsand
mU	Mittelschluff
nFK	nutzbare Feldkapazität
nFKWe	nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes
pF	Maß für die Saugspannung (z.B. des Bodenwassers)
PWP	Permanenter Welkepunkt
R	Red (Bodenfarbe Rot)
Scherw.	Scherwiderstand
Sl4	stark lehmiger Sand
St2	schwach toniger Sand
St3	mittel toniger Sand
SV	Substanzvolumen
T	Ton
Tl	lehmiger Ton
Ts3	mittel sandiger Ton
Ts4	stark sandiger Ton
Tu2	schwach schluffiger Ton
wGP	weite Grobporen
Y	Yellow (Bodenfarbe Gelb)

Statistische und mathematische Parameter und Einheiten

%	Prozent
'	Minuten
°	Grad
°C	Grad Celsius
cm	Zentimeter
cm ²	Quadratzentimeter
cm ³	Kubikzentimeter
cmol/kg	Einheit der KAK: Centimol Ladung pro Kilogramm
d	Tag
dm ²	Quadratdezimeter
g	Gramm

Gew.-%	Gewichtsprozent
h	Stunde
ha	Hektar
kg	Kilogramm
km/h	Kilometer pro Stunde
km ²	Quadratkilometer
l	Liter
m	Meter
mg	Milligramm
ml	Milliliter
mm	Millimeter
nm	Nanometer
ppm	parts per million
r ²	Korrelationskoeffizient (Bestimmtheitsmaß)
t	Tonne
Vol.-%	Volumenprozent
µm	Mikrometer
µS	Mikrosiemens (Einheit Leitfähigkeit=µS/cm)

Sonstige Abkürzungen

&	und
AAS	Atomabsorptions-Spektrometer
amer.	amerikanisch
Aw.-Klima	Savannenklima (A=Tropisches Regenwaldklima, w=wintertrocken)
bzw.	beziehungsweise
DIN	Deutsche Industrienorm
et al.	et alii, und andere
GPS	Global Positioning System
http	Hypertext Transfer Protocol
Kap.	Kapitel
N	Niederschlag
N	Norden
o.a.	oben angegeben
o.J.	ohne Jahresangabe
Q.	Quetzal (guatemaltekische Währungseinheit)
S	Süden
S.	Seite
span.	spanisch
T	Lufttemperatur
TP	Teilprojekt
TM-Landsat	Thematic Mapper - Landuse Satellite
u.	und
u.a.	und andere
üNN	über Normalnull
URL	Uniform Resource Locator
US-\$	Amerikanische Dollar
vgl.	vergleiche
W	Westen
www	world wide web
z.B.	zum Beispiel
zit.	zitiert

Vorwort und Danksagung

Es sind viele Personen in verschiedenster Weise mit dieser Arbeit verbunden. Im Folgenden möchte ich allen herzlich für ihren Beitrag danken.

Mein besonderer Dank gebührt

Herrn Prof. Dr. Gerhard Gerold

für die Übertragung des Forschungsthemas im Rahmen des Graduiertenkollegs „Wertschätzung und Erhaltung von Biodiversität“, für die Betreuung dieser vorliegenden Dissertation und für die sehr gute Zusammenarbeit in den vergangenen Jahren.

Herrn **Prof. Dr. Michael Mühlenberg** danke ich für die Übernahme des Korreferates sowie für die fachlichen Diskussionen und Ratschläge während seines Feldaufenthaltes in Guatemala im April 2002 im Rahmen des Urwald-Workcamps.

Ohne die Zusammenarbeit mit **Dipl.-Biologe Swen C. Renner** wären sowohl die Feldarbeit als auch die vor- und nachbereitenden Phasen in Göttingen bei weitem nicht so fruchtbar gewesen, bantiox!

Gefördert wird das Vorhaben von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Graduiertenkollegs „Wertschätzung und Erhaltung von Biodiversität“. Für die Gewährung des Promotionsstipendiums sowie für die sehr gute Promotionsmöglichkeit in Form des Graduiertenkollegs sei der DFG herzlichst gedankt. Zudem danke ich dem **Universitätsbund** der Georg-August Universität für den finanziellen Zuschuss für die Tagungsreise nach Guatemala im August 2003. Hiermit sind die Rückführung der Daten sowie abschließende fruchtbare Diskussionen vor Ort ermöglicht worden.

Dem Sprecher des Graduiertenkollegs, Herrn **Prof. Dr. Rainer Marggraf**, spreche ich meinen herzlichen Dank aus für die gute Koordination des Projektes. Maßgeblich dazu beigetragen haben für das guatemalteckische Teilprojekt auch Frau **Dr. Heidi Wittmer** (Leipzig), Frau **Dr. Cornelia Andersohn** (Göttingen) sowie Frau **Dr. Regina Birner** (Washington, Göttingen), denen ich ebenfalls zu bestem Dank verpflichtet bin.

Für die Möglichkeiten der Feldarbeiten vor Ort und den regen fachlichen und freundschaftlichen Austausch und Diskussionen bedanke ich mich ganz besonders bei **Armin Schumacher**, **Markus Reinhard** und **Vera Hurschler** (alle UPROBON), sowie bei **Dipl.-Biologe David Unger** (Rax Punit).

Meiner gesamten Familie danke ich für die stete Unterstützung und dafür, dass sie immer für mich da sind. Foolen tunk! Ganz besonderer Dank geht dabei an meine Frau StR' **Susanne Markussen**. Die vielen und vor allem langwierigen Entbehrungen während meiner Auslandsaufenthalte sind vorbei, *in der Ferne so nah!* 1000 Dank für die großartige Unterstützung!

Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes mit vielen wertvollen Anregungen und Diskussionen danke ich **PD Dr. Norbert Lanfer, Dipl.-Geographin Elke Fischer, Dipl.-Geographin Claudia Blaschke, Dipl.-Geograph Marcus Schawe** und **Susanne Markussen**.

Malte Voigt und **Luis Alejandro Cacao Bartolón** danke ich für die sehr gute Zusammenarbeit mit ihrer Übernahme von Diplomarbeiten. Den Mitarbeitern des Labors am Geographischen Institut der Universität Göttingen danke ich für die Unterstützung bei den bodenphysikalischen und –chemischen Analysen, namentlich seien **Dr. Jürgen Grotheer**, CTA **Petra Voigt** und LTA **Anja Södje** genannt.

Allen Mitarbeitern der Abteilung Landschaftsökologie danke ich für die sehr angenehme Arbeitsatmosphäre am Institut.

Auch allen weiteren Personen, die mich bei der Entstehung dieser Arbeit unterstützt haben, hier aber nicht namentlich genannt werden, sage ich herzlichsten Dank.

Ich bedanke mich beim Springer-Verlag für die Abdruckgenehmigung vom 03.11.2003 für die Karte 2 (S. 19) sowie bei der Gebrüder Borntraeger Vertragsbuchhandlung (<http://www.borntraeger-cramer.de>) für die Abdruckgenehmigung vom 21.10.2003 für die Karte 6 (S. 26).

Zu guter Letzt möchte ich mich bei allen beteiligten **Q'eqchi's** bedanken, die mir vor allem die Kultur und Bräuche der jahrhundertealten Maya-Tradition näher gebracht haben.

Bantiox li wa!

Göttingen, im November 2003

Michael Markussen



Bei bodenkundlichen Feldaufnahmen in Guatemala, Juli 2001

1. EINLEITUNG

„Maíz macht den Boden arm und niemanden reich“

- El maíz empobrece la tierra y no enriquece a ninguno. -

(aus: ASTURIAS 1956, S. 12)

Im Rahmen des internationalen Übereinkommens über die biologische Vielfalt verpflichten sich die Vertragsparteien gemäß Artikel 8 „den Schutz von Ökosystemen und natürlichen Lebensräumen sowie die Bewahrung lebensfähiger Populationen von Arten in ihrer natürlichen Umgebung“ zu fördern (BUNDESMINISTER FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, o. J.). Ferner soll der Schutz von Schutzgebieten verstärkt werden, die „die umweltverträgliche und nachhaltige Entwicklung in den angrenzenden Gebieten fördern“ (Pufferzonenmanagement). Betrachtet man diese Aussagen am Beispiel Guatemalas, so scheinen gute Ausgangsbedingungen für den Erhalt der Biodiversität im zentralamerikanischen Raum gegeben zu sein: 27,7% des Landes weisen den Status eines Schutzgebietes auf (CONAMA 1999). Darüber hinaus stammt der Name ‚Guatemala‘ sprachgeschichtlich aus dem aztekischen und bedeutet „Land der Wälder“. Der Name des Landes ist geblieben, die Realität hingegen hat sich in den vergangenen Jahrzehnten stark verändert. Im Jahre 1960 waren 77% der Landesoberfläche mit Wald bedeckt, 1979 waren es noch 42%, 1992 33% und 1998 26% mit weiter abnehmender Tendenz (VALENZUELA DE PISANO 1996, CONAMA 1999). Die Abholzungsraten im Tiefland lagen z.B. im Petén nach SADER et al. (1994) für den Zeitraum von 1986 bis 1990 bei 0,4% pro Jahr. Die FAO berechnet sogar eine jährliche Abholzungsrate auf nationaler Ebene von 1,7% (FAO 2001). Mit den Rodungen sind gravierende Auswirkungen auf Bodeneigenschaften verbunden (BEACH 1998). Aufforstungsprogramme seitens des Staates werden zwar durchgeführt, können die Rodungen jedoch nicht kompensieren und die gravierenden Veränderungen nicht rückgängig machen. Betrachtet man den starken Anstieg der Bevölkerung in diesem Zeitraum mit einem durchschnittlichen jährlichen Bevölkerungswachstum von 3,0%, so ist die Zunahme landwirtschaftlich genutzter Flächen nachvollziehbar (OCEANO GRUPO EDITORIAL 2002). Dabei liegt die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate in den Städten bei 4,0% und auf dem Land bei 2,2% (Statistisches Bundesamt 1996). In ruralen Gemeinden im Petén kommt es durch Migrationsbewegungen zum Teil zu extrem hohen Wachstumsraten von bis zu 11% (CUADERNOS CHAC 1996). Nachhaltige Landnutzungssysteme sind an dieser Stelle ebenso erforderlich, wie Alternativen der Einkommenssicherung für die Maya-Bevölkerung, da 60% der guatemaltekischen Bevölkerung Indígenas sind (BARATTA 2000).

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden aus landschaftsökologischer Sicht vor allem zwei Komponenten untersucht:

- (1) Die Degradation des Bodens durch die traditionelle landwirtschaftliche Nutzung der Q'eqchi-Bevölkerung. Dabei werden bodenphysikalische, bodenchemische und bodenbiologische Parameter analysiert.
- (2) Die Entwicklung der Landnutzung sowie Waldkonversions- und Fragmentierungsprozesse auf der Basis von Satelliten- und Luftbilddauswertungen, um Schlussfolgerungen im Hinblick auf die Notwendigkeit der Unterschutzstellung von Gebieten zu ziehen.

Auch wird geprüft, inwieweit sich die Bodendegradation durch eine Änderung der Landnutzung vermindern lässt, wie sie vom Proyecto Eco Quetzal und weiteren Projekten in Form von privaten Naturreservaten propagiert wird (FRIEDRICH 2002). Beide Komponenten liefern einen Beitrag im Sinne des Übereinkommens über die biologische Vielfalt durch die Determination der Landnutzungsveränderung mitsamt der Bewertung des jetzigen Landnutzungspotenzials sowie einer daraus folgenden Ableitung von Handlungsanweisungen für die regionale Landschaftsplanung in Guatemala.

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Voraussetzung für eine naturwissenschaftlich fundierte Zonierung von Naturschutzgebieten und Nationalparks im Rahmen der Regionalplanung ist eine flächendifferenzierte Kenntnis der noch verfügbaren Waldressourcen, der Prozesse der Waldkonversion sowie der geoökologischen Stabilität oder Instabilität naturnaher Waldökosysteme (GEROLD 1991, 1997). Im Rahmen des Promotionsvorhabens sollen somit zum einen die Dynamik der Waldkonversion, Zunahme der Fragmentierung sowie die Quantifizierung der Landschaftsveränderung erarbeitet werden. Zum anderen wird das Landnutzungspotenzial in den unterschiedlichen Landnutzungssystemen anhand der Bodenfruchtbarkeit bestimmt. Zusammengenommen ergeben sich daraus folgende Zielsetzungen und Fragestellungen für das Forschungsprojekt:

- ✚ Quantifizierung der Prozesse der Waldkonversion und Landschaftsveränderung sowie Analyse der Landnutzungsdynamik. Welche durch menschliche Aktivitäten hervorgerufenen Umweltveränderungen liegen vor (z. B. die Fragmentierung des Lebensraums durch Verkehrswege, Siedlungen und landwirtschaftlich intensiv genutzte Gebiete)?
- ✚ Agrarökologische Bewertung und Analyse der Qualität und des Nutzungspotenzials der Böden im Untersuchungsgebiet mittels bodenphysikalischer, bodenchemischer und bodenbiologischer Analytik. Ist eine Degradation des Bodens durch die traditionelle landwirtschaftliche Nutzung der Q'eqchi-Bevölkerung eingetreten?
- ✚ Wenn dem so ist, welche Konsequenzen lassen sich daraus zur Vermeidung zukünftiger Bodendegradation ziehen? Lässt sich eine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit bei Änderung der Nutzungsform erwarten oder gar nachweisen?

- ✚ Welche mikroklimatischen Veränderungen liegen aufgrund der Waldkonversion vor? Ein Vergleich von Primärwald, Sekundärwald und *milpa*-System.
- ✚ Beschreibung der Landnutzung der Maya-Q'eqchi-Bevölkerung, im Besonderen der Landrodung sowie des Anbaus und der Bewirtschaftung, vor allem im Hinblick auf die Unterschutzstellung von Gebieten (Möglichkeit der Integration statt Segregation).
- ✚ Lässt sich die Thematik „Bodendegradation“ in der Neuauflage der nationalen Biodiversitätsstrategie Guatemalas 2004 verankern?

1.2 Forschungsstand

Laut Übereinkommen über die biologische Vielfalt verpflichten sich die Vertragsstaaten zu einer nachhaltigen Nutzung ihrer biologischen Ressourcen. Bodendegradation stellt eine Gefährdung der biologischen Vielfalt dar. Die aus der Degradation resultierenden niedrigen Flächenerträge erhöhen den Flächenbedarf. Dieser erhöhte Flächenbedarf der Q'eqchi-Bevölkerung führt besonders im Hochland Guatemalas zur Ausweitung landwirtschaftlich genutzter Flächen und zur Verringerung der Waldressourcen. Eine nachhaltige Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen sollte aus diesem Grund vor allem in der Landschafts- und Schutzgebietsplanung einen hohen Stellenwert einnehmen, um einen Beitrag zur Erhaltung und Bewahrung der Biodiversität zu leisten. Alternative Einkommensquellen wie neue landwirtschaftliche Produkte, Ökotourismus oder Herstellung von Naturkerzen sind bereits gut etablierte Instrumente in der Projektregion, um den Druck auf noch bestehende Waldressourcen zu mindern (SCHULZ & UNGER 2000).

In der nationalen Biodiversitätsstrategie Guatemalas sind die Aspekte der Ressource Boden sowie die Auswirkungen der Bodendegradation auf die biologische Vielfalt bislang noch nicht verankert. Im Jahre 2004 wird eine neue Auflage der nationalen Strategie erstellt. Innerhalb dieser Untersuchung sollen Grundlagen für die Erweiterung der „Estrategia Nacional para la Conservación y el Uso Sostenible de la Biodiversidad“ geschaffen sowie alternative Handlungsstrategien für die Politik gegeben werden.

Für den Schutz der Biodiversität sind flächendifferenzierte Bewertungen der Habitatqualität, der Waldkonversion und Fragmentierung der tropischen Bergnebelwälder dringend erforderlich. So stehen z.B. die Landschaftsveränderungen im direkten Zusammenhang mit Veränderungen innerhalb der Vogelpopulationen (MARKUSSEN & RENNER 2002).

Es gibt zahlreiche Untersuchungen zur Waldkonversion in verschiedenen tropischen Ländern wie Brasilien (WEHRHAHN & BOCK 1998, LAURANCE et al. 2002, DALE et al. 1994, RANTA et al. 1998), Indonesien (KUNTZ & SIEGERTS 1999), Mexiko (MENDOZA & DIRZO 1999, RAMÍREZ-MARCIAL et al. 2001, DEININGER & MINTEN 1999, DE JONG et al. 1999, EGBERT et al. 1999), Elfenbeinküste (EHUI & HERTEL 1989). In Guatemala hingegen existieren bislang nur wenige Arbeiten für das Tiefland (BEACH 1998, SADER et al. 1994, 1997, 2001, HAYES & SADER 2001, HAYES et al. 2002) oder auf nationaler Ebene, womit ein hoher

Genauigkeitsverlust aufgrund des kleinen Maßstabs einhergeht (SAGASTUME 1992, MAGA 2001, VALENZUELA DE PISANO 1993). Somit wird die Notwendigkeit einer derartigen Untersuchung mit raum-zeitlicher Dimension für die Bergnebelwaldregionen in Guatemala deutlich, vor allem auch im Hinblick auf die Entwicklung angepasster Naturschutzstrategien auf lokaler und regionaler Ebene in Guatemala (FRIEDRICH 2002).

Diese Aussagen treffen auch für Arbeiten zur Bodendegradation zu. Mehrere Fallbeispiele wurden auf lokaler Ebene in verschiedenen tropischen Regionen mit jeweils unterschiedlichen Fragestellungen untersucht (MARKUSSEN 2002). Für Guatemala liegen einige Arbeiten zur Bodenklassifizierung (SIMMONS et al. 1959, TOBÍAS 1993) und zur Bestimmung der Bodenqualität (TOBÍAS 1985, CASTAÑEDA et al. 1986, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS 1997) vor. Es gibt jedoch keine umfassenden Forschungsergebnisse bezüglich der durch Waldkonversion und Landnutzungswandel induzierten Bodendegradation.

Die Bedeutung der Bergnebelwälder wurde bereits früh erkannt (BUDOWSKI 1965, VEBLEN 1976, LABASTILLE & POOL 1978, CATLING & LEFKOVITCH 1989, HAMILTON et al. 1995, ALDRICH et al. 1997, KAPPELLE & BROWN 2001). Deren ökosystemare Einbindung wurde vor allem seit dem von der UN ausgerufenen *Jahr der Berge* 2002 untersucht (GEROLD, SCHAWÉ & JOACHIM 2003, RENNER, MARKUSSEN & MÜHLENBERG 2004 i.V.). Vor allem auch im Hinblick auf die Global-Change-Problematik (FOSTER 2001, EUGSTER 2002, HIETZ et al. 2002, NADKARNI & SOLANO 2002) stehen Bergnebelwälder und ihre Bedeutung für den Wasser- und Nährstoffumsatz im naturwissenschaftlichen Interesse. Dennoch sind hier zahlreiche Forschungsdefizite erkennbar, häufig bedingt durch logistische, infrastrukturelle Schwierigkeiten in der Durchführung von Forschungsarbeiten in montanen Regionen.

In diesem Zusammenhang nehmen die Bergnebelwälder Guatemalas in der Forschungslandschaft an Bedeutung zu (BROWN et al. 1996, MENCHÚ & BUDOWSKI 1997, DURDEN & ECKERLIN 2001). Aber auch hier sind viele Fragestellungen bezüglich biotischer und abiotischer Aspekte ungeklärt.

Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführten Untersuchungen zur Waldkonversion und Bodendegradation in Kombination mit den potenziellen Auswirkungen auf die Erhaltung von Biodiversität in den Bergnebelwäldern Zentralamerikas ist nach Kenntnisstand die einzige Arbeit, die in diesem Umfang in Guatemala umgesetzt wurde.

1.3 Bezug zum Rahmenthema des Graduiertenkollegs

Diese Forschungsarbeit ist Bestandteil des interdisziplinär ausgerichteten Graduiertenkollegs GRK 642/1 „Wertschätzung und Erhaltung von Biodiversität - Naturschutzstrategien und nachhaltige Nutzung der Biodiversität im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt“, gefördert von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG). Das Projekt setzt sich aus drei Forschergruppen (A, B, C) zusammen.

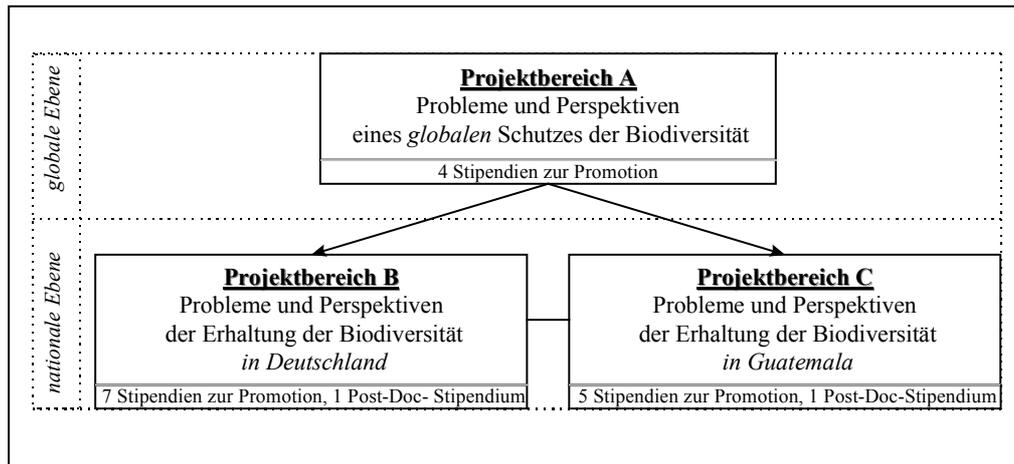


Abbildung 1: Struktur des GRK 642 „Wertschätzung und Erhaltung von Biodiversität“

Projektbereich A untersucht Probleme und Perspektiven eines globalen Schutzes der Biodiversität (MENZEL & REINHARDT 2002). Projektbereich B beinhaltet Probleme und Perspektiven der Erhaltung von Biodiversität in einem Industrieland, am Beispiel des Nationalparks Unteres Odertal (HOLL 2002, JUST & GEROLD 2002, ROTHENBÜCHER & SCHAEFER 2002, GARRELTS 2003). Projektbereich C, in den die vorliegende Arbeit integriert ist, zielt auf Probleme und Perspektiven der Erhaltung von Biodiversität in einem Entwicklungsland, am Beispiel von Guatemala. Es werden Themenbereiche aus den Fachgebieten der Naturschutzbiologie (MARKUSSEN & RENNER 2002, RENNER 2003), der Landschaftsökologie (MARKUSSEN 2003, MARKUSSEN & GEROLD 2003), der Ethnologie (MAASS 2002), der Agrarökonomie (MAÑEZ COSTA 2003) sowie der Volkswirtschaftslehre (LÖNING 2002, 2003, LÖNING & MARKUSSEN 2003a,b) bearbeitet. Die unterschiedlichen räumlichen Ebenen sowie die theoretischen Verknüpfungsstellen sind der Abbildung 2 zu entnehmen. Der landschaftsökologische Teilaspekt umfasst die Bewertung des Landnutzungspotenzials und der Landschaftsstruktur unter Berücksichtigung der Erhaltung der Biodiversität. Einen entscheidenden Faktor spielen hierbei die pedoökologischen Rahmenbedingungen mit der Bewertung ökologischer Bodenfunktionen der untersuchten Ökosysteme.

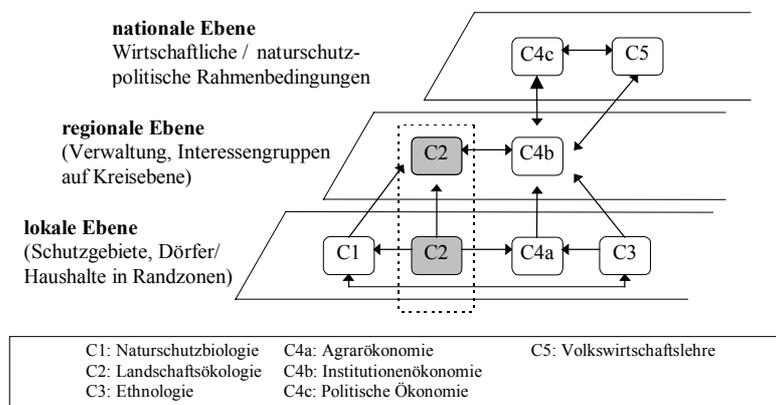


Abbildung 2: Struktur innerhalb des Projektbereiches C „Probleme und Perspektiven der Erhaltung von Biodiversität in Guatemala“ (C2 = vorliegende Arbeit)

Untersuchungsregion ist der Bergnebelwald in Alta Verapaz (1.900 bis 2.532 m üNN). Das *milpa*-System, die traditionelle Landnutzung der Maya-Q'eqchi-Bevölkerung, führte zu Prozessen der Waldkonversion und Habitatfragmentierung. Folglich sind Auswirkungen auf Bodenpotenzial und Biodiversität sowie Effekte auf unterschiedliche Bodenfunktionen erkennbar. Mit der Erfassung der nutzungsabhängigen Bodenveränderung, wird für die zukünftige Landnutzungs- und Schutzgebietsplanung eine wichtige Grundlage geschaffen.

Einen umfassenden Überblick über die Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Projektes mit Einzelbeiträgen der jeweiligen Subprojekte liefert die Springer-Publikation „Valuation and Conservation of Biodiversity – Interdisciplinary View on the Convention on Biological Diversity“ (EDITORIAL STAFF GK 2004, in Vorbereitung).

Die unterschiedlichen Rahmenbedingungen der beiden Länder Deutschland und Guatemala sind in Tabelle 1 aufgelistet. Das kleinere Land Guatemala umfasst eine höhere Artenvielfalt bei sehr viel stärkerer Abnahme der jährlichen Waldfläche im Vergleich zu Deutschland.

<i>Indikatoren</i>		<i>Deutschland</i>	<i>Guatemala</i>
Waldfläche	in 1000km ² (2000)	107	29
	% der Gesamtfläche 2000	30,7	26,3
Jährliche durchschnittliche Abholzung	km ² (1990-2000)	0,0	537
	Abnahme der Waldfläche pro Jahr (1990-2000) in %	0,0	1,7
Säugetiere	Arten (1996)	76	250
	Gefährdete Arten (2000)	12	6
Vögel	Arten (1996)	239	458
	Gefährdete Arten (2000)	5	6
Höhere Pflanzen	Arten (1997)	2682	8681
	Gefährdete Arten (1997)	14	355
Nat. geschützte Flächen	in 1000 km ² (1999)	94,2*	18,2
	% der Gesamtfläche 1999	27*	16,8

Tabelle 1: Abholzung und Biodiversität in Guatemala und Deutschland (Quelle: WORLD BANK 2001) [* es ist zu beachten, dass hier die Schutzkategorie ‚Landschaftsschutzgebiete‘ mitberücksichtigt wurde, STATISTISCHES BUNDESAMT 2002]

2. HINTERGRUND UND THEORETISCHE GRUNDLAGEN

„Landscapes have always changed over time, but we sense, somewhat uneasily, that the processes now at work are more powerfully focused and possibly irreversible.“
„Our present assumption is that generally tropical lands are much more sensitive and less resilient than those in the temperate zones.“
„...the long-term world trend in land uses is a cascading loss on capacity (i.e., degradation) in every broad category of land use.“
(aus: RICHARDS 1990, S. 176f.)

Seit der erstmaligen Nennung des Begriffes „*biodiversity*“ (WILSON 1988) werden sowohl dieser als auch damit in Zusammenhang stehende Begriffe in vielfältigen Bedeutungen verwendet. Daher werden im Folgenden die Begriffsdefinitionen, wie sie in dieser Arbeit verstanden werden, sowie die theoretischen Grundlagen der ökologischen Aspekte des Schutzes von Biodiversität und der Bodendegradation vorgestellt. Darüber hinaus werden die institutionellen Kooperationspartner vorgestellt.

2.1 Begriffsdefinitionen

Biologische Vielfalt bedeutet nach der CBD (Convention on Biological Diversity) „die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft, darunter unter anderem Land-, Meeres- und sonstige aquatische Ökosysteme und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören; dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und zwischen den Arten und die Vielfalt der Ökosysteme“ (BUNDESMINISTER FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, o.J.). Diese Definition von biologischer Vielfalt wird für die vorliegende Arbeit zu Grunde gelegt. Wie umfassend der Begriff Biodiversität heute zum Teil gesehen wird, zeigt u.a. CABASCANGO (1999) mit seiner Sichtweise:

„To me, biodiversity is all the beings that are related in nature: man, animals and plants, even vegetables, rivers, seas, animals in the jungle and all the beliefs we have kept from our ancestors and from our dreams. Wisdom itself is also part of biodiversity.“

Bezüglich der **Bodendegradation** gilt die folgende vom Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WBGU) (1994) formulierte Definition: „Anthropogene Bodendegradation sind dauerhafte oder irreversible Veränderungen der Strukturen und Funktionen von Böden oder deren Verlust, die durch physikalische und chemische oder biotische Belastungen durch den Menschen entstehen und die Belastbarkeit der jeweiligen Systeme überschreiten.“ „Die Bodendegradation ist das wohl gravierendste Umweltproblem, von dem ausgedehnte Landflächen sowohl in den Industrieländern als auch in den Entwicklungsländern betroffen sind.“ (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT 1997, AGENDA 21, S. 113).

In diesem Zusammenhang ist auch die Definition der **nachhaltigen Entwicklung** zu betrachten. Nach dem Brundtland-Bericht ist die nachhaltige Entwicklung „eine Entwicklung, die den gegenwärtigen Bedarf zu decken vermag, ohne gleichzeitig späteren Generationen die Möglichkeit zur Deckung des ihren zu verbauen“ (HAUFF 1987).

2.2 Ökologische Aspekte des Schutzes von Biodiversität und Bodendegradation

Innerhalb dieser Arbeit ist der Bezug vor allem zu Artikel 8 (*In-situ*-Erhaltung) der Konvention über die Biologische Vielfalt (CBD) und Artikel 7 (Bestimmung und Überwachung) gegeben. Demnach wird jede Vertragspartei, „soweit möglich und sofern angebracht,

- a) ein System von Schutzgebieten oder Gebieten, in denen besondere Maßnahmen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt notwendig sind, einrichten;
- b) erforderlichenfalls Leitlinien für die Auswahl, Einrichtung und Verwaltung von Schutzgebieten oder Gebieten, in denen besondere Maßnahmen zur Erhaltung der biologischen Vielfalt notwendig sind, entwickeln; [...]
- d) den Schutz von Ökosystemen und natürlichen Lebensräumen sowie die Bewahrung lebensfähiger Populationen von Arten in ihrer natürlichen Umgebung fördern;
- e) um den Schutz der Schutzgebiete zu verstärken, die umweltverträgliche und nachhaltige Entwicklung in den angrenzenden Gebieten fördern;
- f) beeinträchtigte Ökosysteme sanieren und wiederherstellen sowie die Regenerierung gefährdeter Arten fördern, unter anderem durch die Entwicklung und Durchführung von Plänen oder sonstigen Managementstrategien“.

Zudem sollen laut Artikel 7 und Anlage I Bestandteile der biologischen Vielfalt bestimmt und überwacht werden, die für deren Erhaltung und nachhaltige Nutzung von Bedeutung sind. Dazu gehören Ökosysteme und Lebensräume, „die über eine große Vielfalt, zahlreiche endemische oder bedrohte Arten oder Wildnis verfügen, die von wandernden Arten benötigt werden, die von sozialer, wirtschaftlicher, kultureller oder wissenschaftlicher Bedeutung sind oder die repräsentativ oder einzigartig sind oder mit entscheidenden evolutionären oder anderen biologischen Vorgängen in Zusammenhang stehen“ (BUNDESMINISTER FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, o. J.).

Die **Konvention über die Biologische Vielfalt** (CBD) wurde am 22. Mai 1992 in Nairobi verabschiedet. Auf dem Weltgipfel in Rio de Janeiro im Juni 1992 folgte dann die Unterzeichnung von 157 Staaten. Am 29.12.1993 trat die Konvention schließlich als völkerrechtlich verbindliches Abkommen in Kraft. Mittlerweile haben 183 Staaten die Konvention ratifiziert (vgl. KREBS, HERKENRATH, MEYER 2002). Bemerkenswert ist, dass die USA bislang noch nicht die CBD ratifiziert haben. Guatemala hingegen hat die CBD bereits am 13.06.1992 unterzeichnet und am 10.07.1995 ratifiziert. Es liegt eine nationale Biodiversitätsstrategie sowie auch ein Aktionsplan für Guatemala vor (*Estrategia Nacional*

para la conservación y el uso sostenible de la Biodiversidad y Plan de Acción Guatemala) [CONAMA 1999]. Zusätzlich wurde ein nationaler Report zum Stand der Biodiversitätsstrategie in Guatemala erstellt, der mittlerweile in zweiter Auflage erschienen ist.

Drei Hauptziele verfolgt die Konvention (Artikel 1):

- den Schutz der biologischen Vielfalt,
- die nachhaltige Nutzung ihrer Bestandteile sowie
- die ausgewogene und gerechte Aufteilung der sich aus der Nutzung der genetischen Ressourcen ergebenden Vorteile.

Zu den Hintergründen, zur Geschichte sowie Funktionsweise der CBD liefern KREBS, HERKENRATH & MEYER (2002) einen aktuellen Überblick. Sie arbeiten detailliert heraus, was die Konvention in den ersten zehn Jahren erreicht hat. Einen umfassenden Zustandsbericht über die Forschung in Deutschland in Bezug auf die biologische Vielfalt liefert das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL) in seinem aktuellen Forschungsreport (BMVEL 2002).

Die **VILMER THESEN ZUR BIODIVERSITÄT** (2003) kommen in zehn abschließenden Kernaussagen zu einem notwendigen Wandel im Natur- und Umweltschutz. Eine Kernaussage lautet: „Die Erhaltung der Biodiversität bedarf eines übergreifenden, integrativen Ansatzes der neben den Elementen der biologischen Vielfalt selbst den Schutz der Umweltmedien Wasser, Boden und Luft/Klima einschließt. Natur- und Umweltschutz müssen daher intensiver als bisher kooperieren“. In der vorliegenden Arbeit wird dieser Aspekt berücksichtigt. Die Bedeutung der Bergnebelwälder für den Wasserhaushalt sowie die Auswirkungen von Veränderungen von Boden und Klima aufgrund des Landnutzungswandels sind Gegenstand der Untersuchung. Eingebunden in die interdisziplinären Arbeiten liefert sie einen Beitrag zur Kooperation von Natur- und Umweltschutz.

Das **Aktionsprogramm 2015** liefert mit seinem Beitrag der Bundesregierung Ansätze zur weltweiten Halbierung extremer Armut, wovon folgende in der vorliegenden Arbeit Berücksichtigung finden:

- Die Bundesregierung will Maßnahmen zum Schutz und zur nachhaltigen Nutzung der natürlichen Lebensgrundlagen (Luft, Böden, Wasser, biologische Vielfalt) unterstützen und achtet dabei auf die Partizipation der lokalen und indigenen Bevölkerung an diesen Maßnahmen.
- Die Bundesregierung unterstützt die Agrarentwicklung sowie eine an den Bedürfnissen der armen Bäuerinnen und Bauern orientierte Agrarforschung mit Schwerpunkt auf Nahrungsproduktion (einschl. Fisch, Erhaltung von Bodenfruchtbarkeit und Biodiversität, Schutz und Management der gemeinschaftlich genutzten Ressourcen, Erhaltung und effiziente Nutzung von Wasserressourcen).

- Die unzureichende Versorgung der Armen mit Energie und ihr mangelnder Zugang zu fruchtbaren Böden hat zu verstärkter Abholzung von Wäldern und damit zum Verlust natürlicher Ressourcen wie Holz und biologischer Vielfalt geführt.
- Verminderte Bodenqualität, sinkende landwirtschaftliche Erträge und ein Absinken des Grundwasserspiegels sind häufig Folgen, die vor allem die Armen treffen.
- Ein schonender Umgang mit Naturressourcen wie Böden und Grundwasser sichert langfristig die Lebensgrundlagen gerade ärmerer Bevölkerungsschichten.

Auch die **AGENDA 21** beinhaltet Aspekte, die im Zusammenhang mit dieser Untersuchung stehen. Davon betroffen sind vor allem folgende Kapitel:

„14.3 Vorrang muß dabei die Erhaltung und die Steigerung der Leistungsfähigkeit der ertragreicheren landwirtschaftlichen Nutzflächen haben, denn nur so kann eine wachsende Bevölkerung ausreichend versorgt werden. [...]

14.44 Die Bodendegradation ist das wohl gravierendste Umweltproblem, von dem ausgedehnte Landflächen sowohl in den Industrieländern als auch in den Entwicklungsländern betroffen sind. Die Erosionsproblematik ist insbesondere in den Entwicklungsländern stark ausgeprägt [...]. Die Bodendegradation ist besonders schwerwiegend, weil die Ertragskraft riesiger Landflächen gerade jetzt abnimmt, da die Bevölkerungszahlen rapide steigen und der Druck auf den Boden, was die Produktion von Nahrungsgütern, Pflanzenfasern und Brennstoffen angeht, enorm zunimmt. [...]

14.86 Die Regierungen sollen Strategien entwickeln und anwenden, mit denen die Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit zur Gewährleistung einer nachhaltigen Agrarproduktion verbessert werden kann, und die dafür erforderlichen agrarpolitischen Instrumente dementsprechend anpassen.“

Der WBGU (1994) stellt sich die zentrale Frage „Wie kann die Ernährung weltweit gesichert und zugleich die anthropogene Nutzung der Böden, von Flora und Fauna so gestaltet werden, daß sie standortgerecht, nachhaltig und umweltschonend ist?“. Die landwirtschaftliche Produktion muss der Belastung der Böden angepasst sein und sollte weltweit vornehmlich dort erfolgen, wo sie nachhaltig mit verhältnismäßig geringen Umweltbelastungen, kostengünstig und ertragreich betrieben werden kann. Daraus ergeben sich folgende Leitlinien:

1. Die fruchtbaren Böden und ihre Produktivität sind langfristig zu sichern.
2. Auf den wenig fruchtbaren Böden ist die Produktion in nachhaltiger Weise zu erhöhen; wo dies nicht möglich ist, weil erhebliche Degradation auftritt, ist die Nutzung zu reduzieren.

2.3 Die Rolle des Bodens für die Biodiversität

Zwischen Boden und biologischer Vielfalt bestehen zahlreiche enge Wechselbeziehungen:

- ✚ Vier grundlegende Bodenfunktionen liefern die Grundlage für Flora und Fauna:
 - **Lebensraumfunktion:** Boden als Grundlage für die Primärproduktion terrestrischer Systeme, einschließlich des Menschen (biologische Vielfalt, Genpool),
 - **Nutzungsfunktion:** Produktion von Nahrung, Futter und nachwachsenden Rohstoffen sowie die Ausbeute von Lagerstätten; dient für Siedlungen und Verkehr sowie Ver- und Entsorgung; bringt Informationsmaterial für biotechnologische Nutzung,
 - **Regelungsfunktion:** Akkumulation von Energie und Stoffen sowie deren Umwandlung und Transport (Strahlung, Wärme, Wasser, Kohlendioxid, Methan, Stickoxide etc.),
 - **Kulturfunktion:** Bezugsgröße kultureller Identität (Religion, Geschichte, Heimat).
- ✚ Der Boden fungiert als Standort für Nutz- und Wildpflanzen, ferner als Lebensraum für Bodentiere und Mikroorganismen. Eigenschaften des Bodens wie Wasserhaushalt, Durchlüftung, Humusmenge und -art, Bodenversauerung u.a.m. beeinflussen das Pflanzenwachstum und die Artenvielfalt von Pflanzengemeinschaften.
- ✚ Das Gefährdungspotenzial für die biologische Vielfalt ist gegeben durch
 - Inkulturnahme neuer Flächen,
 - die Vernachlässigung von Brachezeiten,
 - den Anbau von Monokulturen,
 - und gravierende Nutzungsänderungen.
- ✚ Ein Mangel an Nährstoffen führt ebenso wie ein Überangebot zu einer Änderung der biologischen Vielfalt.

Hinsichtlich der Verknüpfung von Bodendegradation, Verlust von biologischer Vielfalt sowie der Armutsbekämpfung formuliert der WBGU (1994) vier Thesen. Folgende zwei Thesen sind für die vorliegende Arbeit von Relevanz:

These 2: Standortgerechte, nachhaltige und umweltschonende Bodennutzung führt zu einer Sicherung der Artenvielfalt (pflanzliche, tierische und mikrobielle Organismen) und damit verbunden zu einer verbesserten Elastizität und Resilienz durch die

- Vielfalt der Kulturen sowie ihrer räumlichen und zeitlichen Anordnung,
- Integration von Acker-, Vieh- und Holzwirtschaft,
- Einbeziehung von Ausgleichsflächen (Biotopdiversität),
- Einrichtung von Schutzzonen,

- schonende Art der Bodenbearbeitung,
- Reduktion der Anwendung von Agrochemikalien,
- Erhaltung der Bodenstruktur (Habitat).

Leitsatz: Erhaltung oder Wiederherstellung der Lebensraumfunktion von Böden. [...]

These 4: Standortgerechte, nachhaltige und umweltschonende Bodennutzung führt zu effizienter Landnutzung und stabilen ruralen Gesellschaften durch die

- nachhaltige Produktion qualitativ hochwertiger Nahrungsmittel,
- Sicherung eines angemessenen Einkommens der ländlichen Bevölkerung,
- Erhaltung ländlicher Kulturlandschaften,
- Bewahrung des kulturellen Erbes.

Leitsatz: Erhaltung oder Wiederherstellung der Kulturfunktion von Böden.

Die Tabelle 2 verdeutlicht, wie gravierend die Bodendegradation vor allem im zentral-amerikanischen Raum ist. Mittelamerika nimmt eine negative Spitzenposition im weltweiten Vergleich ein. 74% des Ackerlandes und 38% der Wälder und Savannen werden als degradiert eingestuft.

	Ackerland			Dauergrünland			Wälder und Savannen		
	Gesamt	Degradiert	%	Gesamt	Degradiert	%	Gesamt	Degradiert	%
Afrika	187	121	65	793	243	31	683	130	19
Asien	536	206	38	978	197	20	1.273	344	27
Südamerika	142	64	45	478	68	14	896	112	13
Zentralamerika	38	28	74	94	10	11	66	25	38
Nordamerika	236	63	26	274	29	11	621	4	1
Europa	287	72	25	156	54	35	353	92	26
Ozeanien	49	8	16	439	84	19	156	12	8
Welt	1.475	562	38	3.212	685	21	4.048	719	18

Tabelle 2: Globale und kontinentale Verbreitung der Acker-, Weide- und Waldflächen, der degradierten Böden sowie deren prozentuale Anteile an den jeweiligen Gesamtflächen in Mio. ha
(Quelle: WBGU 1994, S. 52)

Die folgende Abbildung 3 verdeutlicht die Bedeutung von bodenchemischen und bodenphysikalischen Rahmenbedingungen für das Vorkommen von Flora und Fauna im Nahrungsnetz. Die Auswirkungen der Bodendegradation werden in Abbildung 4 schematisch dargestellt.

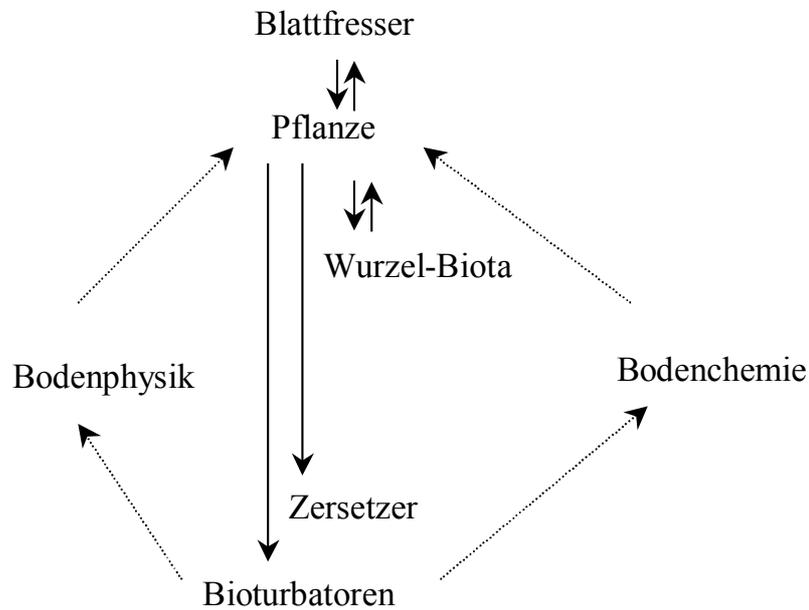


Abbildung 3: Die Bedeutung von bodenchemischen und bodenphysikalischen Parametern für Flora und Fauna im Nahrungsnetz (verändert nach BRUSSAARD et al. 1997)

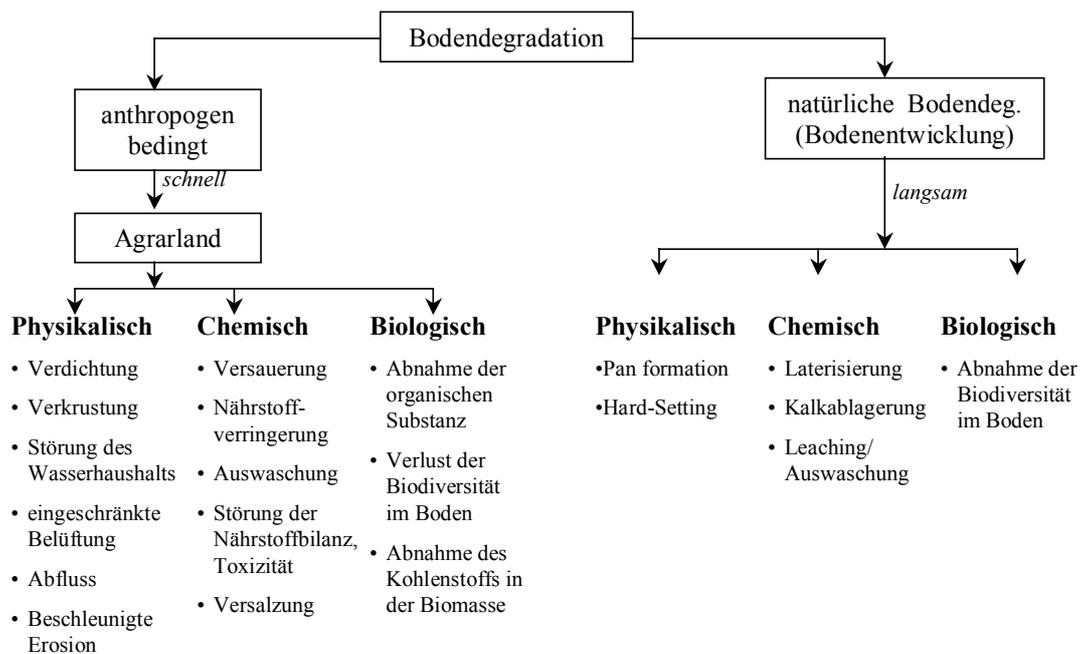


Abbildung 4: Haupttypen der Bodendegradation und ihre Auswirkungen (verändert nach LAL 1998a)

2.4 Institutionelle Zusammenarbeit

Hauptkooperationspartner im Gesamtprojekt waren die beiden Nichtregierungsorganisationen UPROBON (*Unión para Proteger el Bosque Nuboso*) und PEQ (*Proyecto Ecológico Quetzal*). Des Weiteren waren verschiedene Institutionen von universitärer Seite Guatemalas beteiligt. Im Folgenden werden vor allem die Zielgruppen, Projektziele sowie die einzelnen Teilprojekte vorgestellt.

2.4.1 UPROBON

Die *Unión para Proteger el Bosque Nuboso* (UPROBON) ist eine im Jahr 2000 gegründete Organisation, die den Schutz und die Erhaltung von Bergnebelwald in Zentralguatemala fördert. UPROBON gehören 343 ha Land, davon sind ca. 200 ha Primärwald. Ende September 2003 konnte ein Zukauf benachbarter Flächen erfolgen, so dass das private Schutzgebiet um 170 ha vergrößert wurde. Davon sind wiederum 100 ha intakter Bergnebelwald.

2.4.1.1 Zielgruppe

Zielgruppe dieser Organisation ist zum einen die ansässige Bergbevölkerung der Q'eqchi-Indigenas. Die Tätigkeiten sollen den umliegenden Dörfern durch Partizipation an einzelnen Teilprojekten zu Gute kommen. Zielgruppen sind zum anderen sämtliche aktiven Teilnehmer am Aktionszentrum ‚Reserva Privada Chelemhá‘, die aus verschiedensten Bereichen kommen: Schulklassen, Touristen, Wissenschaftler, Maya-Gruppen, u.a.m. Zielobjekt der Aktivitäten ist der intakte Bergnebelwald, dessen Schutz bei den einzelnen Projektzielen jeweils im Vordergrund steht.

2.4.1.2 Projektziele

Nach UPROBON (2000) werden folgende Ziele beabsichtigt:

1. Erarbeitung und Vermittlung von Möglichkeiten für eine Lebensbasis der benachbarten indigenen Bevölkerung ohne den Einsatz der Waldrodung,
2. Möglichst geringe Beeinflussung der Q'eqchi-Bevölkerung, Bestrebung einer kulturell angepassten Existenzsicherung,
3. Renaturierung bereits abgeholzter Bereiche,
4. Aufforstungen,
5. Aufbau einer selbsttragenden Naturschutzorganisation finanziert durch Spenden und Gönnerbeiträge,
6. Etablierung des Ökotourismus und Verkauf von Agro- und Holzprodukten zur Erwirtschaftung weiterer Vereinsmittel.

2.4.1.3 Teilprojekte

Die einzelnen Teilprojekte sind vor allem folgenden Bereichen zuzuordnen: Landwirtschaft (Mais, Gemüseanbau, Obstanbau, Viehhaltung), Aufforstung, Tourismus, Biomonitoring und Bildung. Für den Bereich Landwirtschaft wurden Demonstrationsparzellen angelegt, um einen möglichst nachhaltigen und gleichzeitig produktiven Anbau zu demonstrieren. Neue Obstsorten sollen etabliert werden, um ggf. einen neue Verdienstquelle zu erschließen. Einen zentralen Part stellt die Aufforstung dar. Im Rahmen des Wiederaufforstungsprogramms PINFOR vom INAB (siehe Kapitel 4.3) wurden ca. 13 ha mit *Pinus maximinoii* aufgeforstet. Hiermit soll vor allem der zukünftige Holzbedarf der Indígenas für Baumaterial sowie Brennholz gedeckt werden, um benachbarte Primärwaldflächen unangetastet zu lassen. Seit 2003 werden auch Laubwaldaufforstungen durchgeführt, wobei eine Zusammensetzung regional vorkommender Baumarten gewährleistet wird.

Auch der Tourismus stellt für die Bevölkerung ein enormes Potenzial als alternative Einkommensquelle dar. Vor allem dem Ökotourismus werden hervorragende Voraussetzungen in der Region zugeschrieben.

2.4.2 Proyecto Eco Quetzal

Der deutsche Biologe David Unger gründete 1991 die NGO „Proyecto Eco Quetzal“ (PEQ) mit dem Hauptinteresse, die Habitate des *Göttervogels im Nebelwald* (Quetzal) (WIELAND & FOBES 1993) durch die Integration von Schutz und Nutzung zu sichern:

- Schutzausweisung einzelner Nebelwaldflächen
- neue Nutzungskonzepte: „Maisrevolution“ (Tabelle 3) zur Optimierung der **Landwirtschaft** auf bereits gerodeten Flächen (Verminderung der Erosion, Anreicherung organischen Materials, damit Erhöhung des Nährstoffangebotes im Boden)
- **Ökotourismus** als zusätzliche Einnahmequelle
- Produktion und Vertrieb von **Naturkerzen**

bisheriger Maisanbau	neuer Maisanbau („Maisrevolution“)
Roden, Trocknen, Verbrennen der Halme und Beikräuter vor der Aussaat	Kappen der Halme und Beikräuter, Zerteilen und Liegenlassen („Mulchen“)
nicht der Hanglage angepasste Ausrichtung der Pflanzstreifen und 1 m Abstand der Saatlöcher	Reihenpflanzung entlang der Höhenlinien und 0,3 m Abstand der Saatlöcher
keine Erosionsschutzbarrieren	Anlage von Erosionsschutzbarrieren aus Pflanzen und Steinen entlang der Höhenlinien

Tabelle 3: Umstellung des Maisanbaus auf bereits gerodeten Flächen in der Sierra Aj Poop B'atz'
Quelle: SCHULZ & UNGER (2000), S. 99

Das Hauptziel von dem Proyecto Eco Quetzal ist der Schutz und die Erhaltung der Habitate für den Quetzal sowie anderer seltener Arten in den Wäldern von Alta Verapaz. Dieses geschieht vor allem durch die Einführung von Einkommensalternativen sowie durch Förderung des schonenden Umgangs mit den natürlichen Ressourcen. Es werden verschiedene Projektkomponenten wie nachhaltige Landwirtschaft, Biomonitoring von verschiedenen Vogelarten, Projekte zum Kunsthandwerk sowie Ökotourismus (*low-impact tourism*) gefördert. Diese Alternativen zum traditionellen Landbau tragen zum Erhalt der Bergnebelwälder bei und sichern gleichzeitig die Lebensqualität der ländlichen Bevölkerung dieser Region.

Zahlreiche Arbeiten in Zusammenarbeit mit dem Proyecto Eco Quetzal haben auch wissenschaftliche Ergebnisse geliefert, wie z.B. die Förderung des Apfelanbaus als Alternative zum Brandrodungsmaisbau in der Nebelwaldregion (THIELEMANN o.J.) oder der Aufbau von zwei kleinen meteorologischen Messstationen in der Berg-Nebelwaldzone (LÜDICKE & PANZER 1997).

Eine detaillierte Beschreibung der Projektstätigkeiten liefern SCHULZ & UNGER (2000).

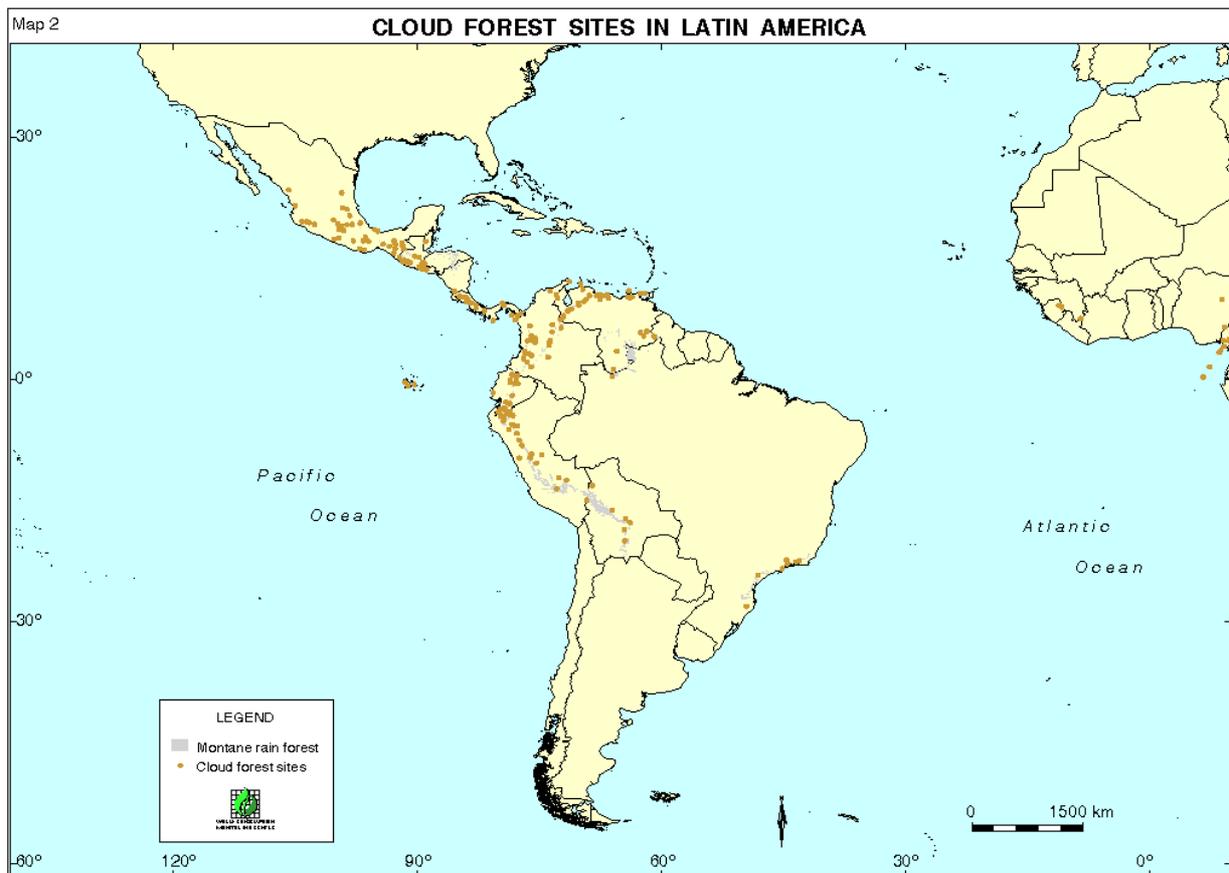
2.4.3 Weitere Institutionen

Zusätzlich zu den beiden oben genannten Nicht-Regierungs-Organisationen ergab sich eine intensive Zusammenarbeit mit folgenden Institutionen:

- Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), verschiedene Fachbereiche,
- CUNOR: Centro Universitario del Norte (Guatemala), Departamento de Geología,
- Proeval Raxmu, Proyectos Evaluados para Conservación de la Naturaleza,
- Oficina Técnica de Biodiversidad (OTECBIO), Consejo Nacional de Areas Protegidas (CONAP), Guatemala, Technisches Büro zur Umsetzung der Biodiversitätsstrategie.

2.5 Die globale Bedeutung der Bergnebelwälder

Das WORLD CONSERVATION MONITORING CENTRE (1997) hat die Verteilung von Bergnebelwäldern (Karte 1) kartographisch dargestellt, aber es stellt sich die Frage, wie diese Wälder funktionell und strukturell aufgebaut sind. Viele ökologische Funktionen sind noch unklar, z.B. im Hinblick auf Waldstruktur, biologische Vielfalt von Flora und Fauna, Böden, Wasser etc. Besonderen Forschungsbedarf sieht das WCMC speziell für Lateinamerika in folgenden Bereichen: Erfassung der Verteilung und Schutz von Bergnebelwaldflächen, deren ökonomischer und biodiversitärer Wert, die hydrologische und klimatologische Rolle der Bergnebelwälder und deren ethnobiologische Bedeutung.



Karte 1: Verteilung der Bergnebelwaldflächen in Lateinamerika

(Quelle: ftp://ftp.wcmc.org.uk/products/wcmc_publications/bulletin_2/lamerica.gif)

Die Bedeutung der Bergnebelwälder liegt vor allem in folgenden Aspekten:

- Sie besitzen wichtige ökologische Funktionen durch häufiges Auftreten von Nebel. Dadurch liegen besondere Bedingungen vor, z.B. der Auskämmeffekt: Pflanzen können die Wasserausbeute aus der Atmosphäre erhöhen, Zugewinn von über 20% des Regens, z.T. noch deutlich darüber (BROWN et al. 1996, BRUIJNZEEL & PROCTOR 1995, THIELEMANN 1991).
- Durch die klimatischen Besonderheiten bilden sich mächtige Humus- und Rohhumusschichten, wodurch große Auflagen aus unzersetzter organischer Substanz mit hoher Wasserspeicherkapazität entstehen (GEROLD, SCHAWÉ & JOACHIM 2003).

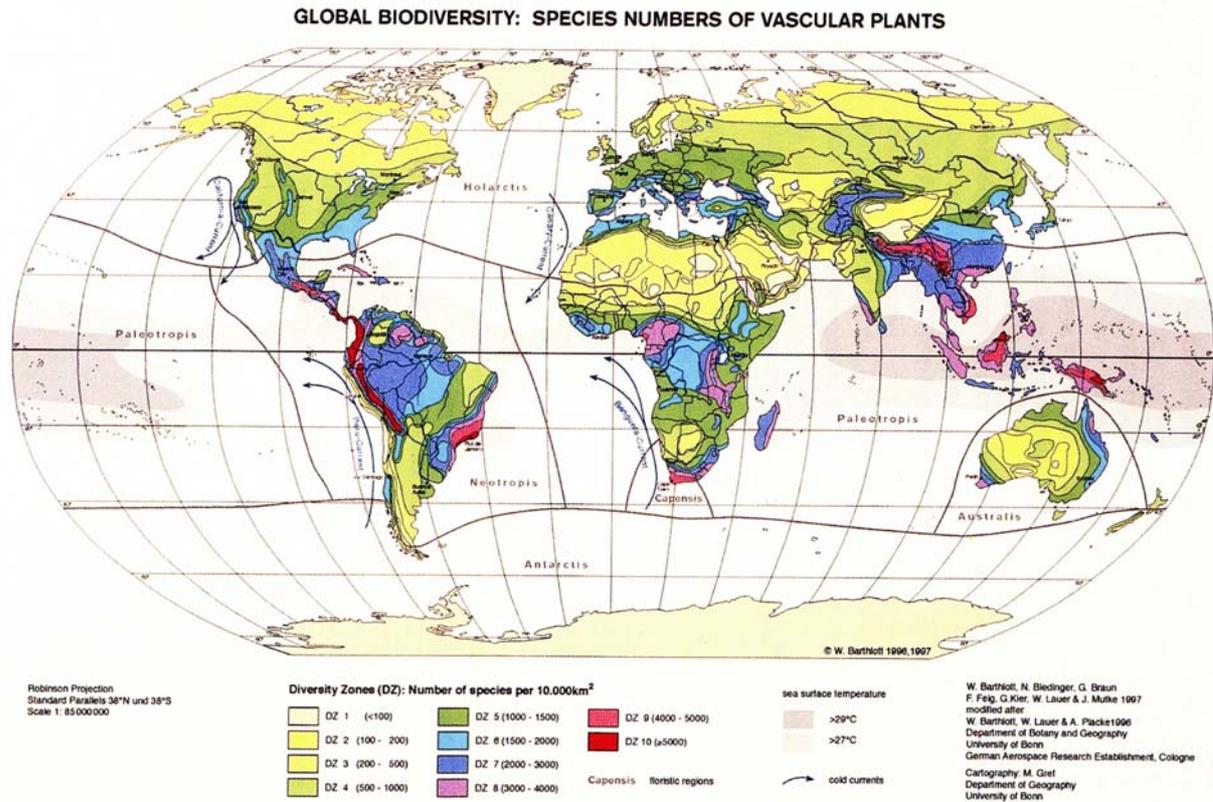
- Als „Wasserspeicher“ üben die Nebelwälder wichtige hydrologische Funktionen aus (BRUIJNZEEL 1989).
- Der Flächenanteil geht stärker zurück als bei Tieflandsregenwäldern (HAMILTON et al. 1995).
- Die Nebelwälder Guatemalas besitzen einen hohen Anteil an endemischen Pflanzen und Tieren (BROWN et al. 1996, VILLAR ANLEU 1998a, b).
- Es existiert eine sehr große Artenvielfalt. So kommen in Guatemala über die Hälfte der insgesamt 800 Orchideenarten in den Bergnebelwäldern vor. VEBLEN (1976) hebt für die guatemalteckischen Wälder die große Artenvielfalt bezüglich der Koniferen hervor (7 Gattungen, 17 Arten). Keine andere Region mit so niedriger Breite (14-16°N) weist eine solche hohe Koniferen-Vielfalt auf, verbunden mit einem hohen Potenzial hinsichtlich des Genpools.
- Die Bergnebelwälder Guatemalas wurden von der Weltbank als gefährdet, biogeographisch einzigartig und von hoher Schutzpriorität eingestuft (DINERSTEIN 1995).

Es sind bis heute jedoch noch viele Forschungsfragen offen geblieben:

- Versorgung und Ausstattung der Böden tropischer Bergwälder mit Mikronährstoffen und Gehalten in der Bodenlösung sind kaum erforscht (HAMILTON 1995)
- Aufgrund logistischer Schwierigkeiten sind Forschungen der montanen Wälder häufig nur lückenhaft vorhanden (Boden, Botanik, Klima, etc.)
- Über Boden/Pflanze-Wechselbeziehungen und auch Boden/Bodenlebewesen-Korrelationen ist wenig bekannt.

Eine aktuellen Überblick über die Probleme der neotropischen Bergnebelwälder liefern KAPPELLE & BROWN (2001), ALDRICH et al. (1997), BRUIJNZEEL & HAMILTON (2000), HAMILTON et al. (1995), BROWN & KAPPELLE (2001), HAMILTON (2001), BUBB (2001) sowie STADTMÜLLER (1987). Speziell den Bergnebelwäldern in Guatemala widmen sich ISLEBE & PÉREZ (2001), BROWN et al. (1996), SCHUSTER et al. (2000).

Nach BROWN & KAPPELLE (2001) sind von den insgesamt 50.000 ha Bergnebelwald bislang nur 20.000 ha geschützt. BUBB (2001) gibt nur absolute Zahlen bezüglich der Nebelwälder in Guatemala an: von den insgesamt zwölf in Guatemala vorhandenen Bergnebelwaldstandorten (in fünf verschiedenen geographischen Regionen) sind sechs Gebiete geschützt. Somit stehen also 50% der Standorte unter Schutz. Friedensnobelpreisträgerin MENCHÚ TUM & BUDOWSKI (1997) fordern für einzelne zu schützende Bergnebelwaldgebiete Guatemalas gemeinsame interdisziplinäre Bemühungen von Naturschützern, Geographen, Botanikern, Zoologen und Anthropologen, um den Bergnebelwald zu studieren, detailliert zu beschreiben und darauf aufbauend einen Managementplan zu erstellen.



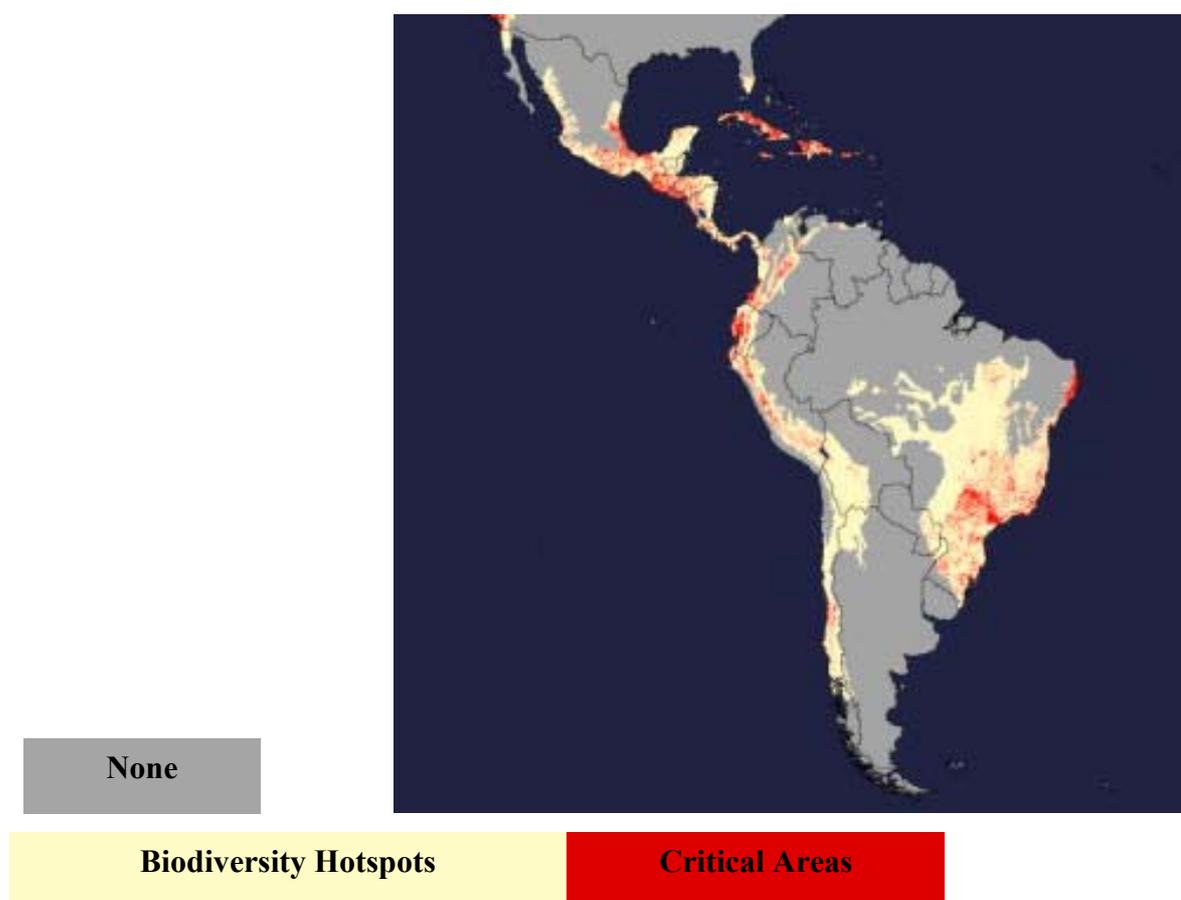
Karte 2: Globale Biodiversität: Artenzahlen der vaskulären Pflanzen

(Quelle: BARTHLOTT & WINIGER 1998)

Anhand der Karte 2 wird deutlich, dass die Biodiversität zu den Tropen hin deutlich zunimmt. Dunkelrote Flächen stellen Regionen dar, in denen über 5.000 Arten pro 10.000 km² vorkommen. Es ist erkennbar, dass die Bergnebelwälder einen wichtigen Platz einnehmen. Beispiele dafür sind vor allem im Andenbereich zu finden: Bolivien, Peru, Ecuador sowie ein Korridor, der sich bis Zentralamerika zieht. Und vor allem Guatemala nimmt dort mit der zweithöchsten Diversitätszone eine wichtige globale Rolle ein.

Dies wird auch anhand der Karte 3 deutlich, wo die sog. „hotspots“ der Biodiversität dargestellt sind. Die Verbreitung dieser weltweit 25 Flächen, die eine auffallend große Artenvielfalt aufweisen, zeigen deutliche Parallelen zur Karte 2 (vgl. auch MYERS et al. 2000). Auch hier ist der gesamte mittelamerikanische Bereich hervorgehoben und stellt somit eine hohe Schutzpriorität dar. Diese 25 hotspots weisen 44% aller vaskulären Pflanzen und 35% aller Arten in vier Gruppen von Vertebraten auf und stellen nur 1,4% der Landesoberfläche dar.

BRUIJNZEEL & HAMILTON (2000) verdeutlichen anhand eines Beispiels aus Guatemala die Bedeutung des Nebelwassers für den Wasserhaushalt der tropischen Bergnebelwälder: die Menge der Kronentraufe übersteigt ein Vielfaches des Freilandniederschlages aufgrund des Auskämmeffektes. Dieses führt auch dazu, dass vor allem Epiphyten in Bergnebelwäldern besonders zahlreich sind (SCHULTZ 2000).



Karte 3: Gefährdete Regionen für die Biodiversität und *hotspots*

(Quelle: <http://www.worldbank.org/nipr/Atrium/mapping.html>)

3. GEOÖKOLOGISCHE RAHMENBEDINGUNGEN IM UNTERSUCHUNGSGEBIET

*„Geographical data for Guatemala is often hard to find
and very often confusing when found.“*

(aus: WILLIAMS 1970)

Diese Aussage lässt sich nach 33 Jahren ein wenig relativieren, nichtsdestotrotz ist es auch heute noch schwierig, umfangreiche Daten bezüglich der naturräumlichen Ausstattung Guatemalas zu finden. Grundlegende landeskundliche Fragestellungen haben vor allem SAPPER und TERMER z.T. bereits Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts bearbeitet (SAPPER 1894, 1902, 1912a, 1936a, TERMER 1936, 1941). Die erste und bis heute einzigartige umfangreiche bodenkundliche Studie auf nationaler Ebene erfolgte durch SIMMONS, TÁRANO & PINTO (1959). Eine detaillierte Erfassung der Biodiversität führten NATIONS et al. (1989) durch. Als heute umfangreichstes Werk im Hinblick auf die naturräumliche Ausstattung Guatemalas kann MAGA (2001) angesehen werden. Knapp 100 Karten im Maßstab 1:500.000 liefern einen umfassenden Überblick auf nationaler Ebene, jedoch wenige regionale Informationen auf lokaler Ebene aufgrund des kleinen Maßstabs.

Im folgenden Kapitel wird zunächst die Auswahl des Untersuchungsgebietes dargelegt sowie im Anschluss daran die einzelnen geoökologischen Rahmenbedingungen vorgestellt. Dieses erfolgt zunächst auf kleinmaßstabsmäßiger Ebene eingebunden in den mittelamerikanischen Kontext. Daran anschließend folgt eine Einordnung auf nationaler, guatemaltekkischer Ebene und wird dann detaillierter auf regionaler bis zur lokalen Ebene im Untersuchungsgebiet dargestellt.

3.1 Einführung in das Untersuchungsgebiet und seine aktuelle Problematik

Für die Auswahl des Untersuchungsgebietes gibt es zahlreiche Kriterien. Die Konzeption des Graduiertenkollegs war ausgerichtet auf Untersuchungen in Deutschland sowie in Guatemala. Im Hinblick auf den interdisziplinären Forschungsansatz des Projektes musste eine Region gewählt werden, in der sowohl ökologische, soziologische, ökonomische als auch ethnologische Belange bedeutend sind. Vor allem aus naturwissenschaftlicher Sicht führte die wichtige Funktion der Bergnebelwälder zu dem Entschluss, ein Untersuchungsgebiet in diesem sensiblen Ökosystem auszuwählen. Die Kontakte zu den NGO's UPROBON sowie PEQ lieferten sehr gute infrastrukturelle Rahmenbedingungen, so dass die Entscheidung schließlich auf die Sierra Yalijux fiel (Karte 4, S. 23).

Ein klarer Nachteil der Wahl liegt darin, dass bislang keine kontinuierliche Forschung in dem Gebiet stattgefunden hat, abgesehen von einigen sehr wichtigen Forschungsarbeiten von biologischer Seite (EISERMANN 1999, EISERMANN & SCHULZ 2002, FÖRTHNER, SCHULZ & UNGER 2000, SCHULZ & MENZEL 2000, SCHUSTER, CANO & CARDONA 2000). Auf der anderen Seite liefert diese Arbeit somit eine sehr wichtige Grundlage für folgende, sich anschließende Forschungsprojekte.

Administrativ-politisch gesehen gehört das Untersuchungsgebiet zum Departamento Alta Verapaz und befindet sich in den drei Municipios Tukurú, Senahú und San Pedro Carchá (Xucaneb=San Juan Chamelco). Die Untersuchungen fanden in den Comunidades Chelemhá, San Antonio de las Puertas, Chicacnab, Xucaneb sowie Mestelá statt.

3.2 Geographische Lage und naturräumliche Einordnung

Die geographische Lage Guatemalas führt zu einer enormen geoökosystemaren Vielfalt. Guatemala liegt im mesoamerikanischen Korridor (siehe Karte 4) und ist begrenzt durch das Karibische Meer und den Pazifischen Ozean sowie den umliegenden Ländern Mexiko, Belize, Honduras und El Salvador. Die geographischen Koordinaten liegen zwischen 13°34' und 17°49' nördlicher Breite sowie 88°14' und 92°13' westlicher Länge. Es umfasst somit eine Landesfläche von insgesamt 108.889 km² und ist nach Nicaragua und Honduras das drittgrößte Land Zentralamerikas. Das Land lässt sich aus geomorphologischer Sicht in drei Hauptregionen aufteilen: Das vulkanisch geprägte Hochland mit bis heute andauerndem aktiven Vulkanismus, der sich westlich daran anschließende pazifische Küstenstreifen sowie die nördlich verlaufende Kordillere, welche in das Tiefland des Petén übergeht.

Zur allgemeinen geographischen Situation in Guatemala und zur Charakterisierung von einzelnen Parametern auf nationaler Ebene siehe STATISTISCHES BUNDESAMT (1996), CABRERA GAILLARD (1992). Die Lage des Untersuchungsgebietes und die geographische Einordnung in den amerikanischen Kontinent ist in Karte 4 dargestellt.



Karte 4: Lage der Untersuchungsgebiete

3.3 Makro- und Mesoklima

Klimatisch gesehen weist Guatemala starke Variationen auf, die Niederschläge schwanken von 500 bis über 6.400 mm pro Jahr, genauso variieren die Temperaturen von 10 bis 28°C im Jahresmittel, mit starker Frostgefahr im Hochland. SCHULTZ (2000) ordnet das Untersuchungsgebiet den immerfeuchten Tropen zu. Jahresniederschläge liegen bei ca. 5100 mm pro Jahr (eigene Daten, siehe Kapitel 6.3.3, sowie MAGA 2001), die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei ca. 22°C. Der maximale jährliche Niederschlag in der Region im Zeitraum von 1961-1997 liegt bei ca. 6200 mm (MAGA 2001), der minimale Niederschlag bei 2.000 mm.

Die potenzielle Evapotranspiration schwankt in Guatemala von 800 bis 2.200 mm. Im Untersuchungsgebiet wird sie mit 1700mm angegeben. Dementsprechend liegt die klimatische Wasserbilanz bei 2.400 mm.

Die durchschnittliche relative Luftfeuchtigkeit wird für gesamt Guatemala durchgehend mit über 65% angegeben, im Untersuchungsgebiet liegt sie bei 85%. Für die solare Strahlung geben MAGA (2001) 2000 Sonnenstunden pro Jahr an. Die Dauer einer Anfälligkeit im Hinblick auf eine negative Wasserbilanz wird mit 1,8 Monaten angegeben. Aufgrund der Höhe üNN wird die Frostgefahr als gering eingestuft, wobei jedoch die Frostgrenze von SAPPER (1912b) pauschal für Guatemala mit etwa 1800 m angegeben wird.

Bezüglich der Klimaklassifikation nach Thornwhaite werden die Bergnebelwälder als feuchte (BA') bis sehr feuchte Wälder (AB'2) eingestuft. Nach Köppen erfolgt die Einstufung im Übergangsbereich zwischen Cfbig (feucht-gemäßigtes Klima mit milden Wintern, kühlen Sommern, isothermisch mit Gangestyp des jährlichen Temperaturganges) und Afig (warm-feuchtes tropisches Regenwaldklima mit reichlichen Niederschlägen über das gesamte Jahr, isothermisch mit Gangestyp des jährlichen Temperaturganges).

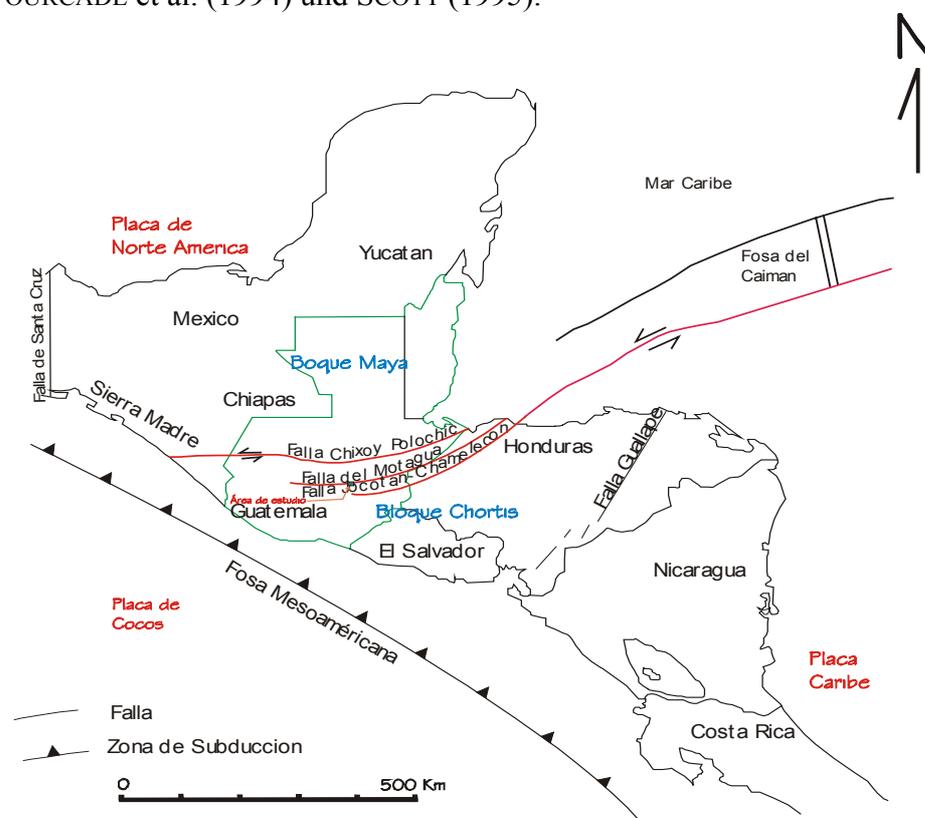
3.4 Geologie und Geomorphologie

Geologisch wird das Gebiet allgemein als Rocas Sedimentarias bezeichnet (Formación Chóchal), Kalkgesteine aus dem Perm (nach DONNELLY et al. 1990: 246 bis 287 Millionen Jahre vor heute). Nördlich daran schließt sich ebenfalls Kalkgestein an, jedoch aus der jüngeren Kreidezeit (Cretácico). Vereinzelt treten Formationen des späten Juras bzw. der frühen Kreidezeit (Formación Todos Santos) zu Tage. Eine genaue Kartierung erfolgte im Rahmen einer Projektkooperation durch CACAO (2003). Geomorphologisch ordnet MAGA (2001) das Untersuchungsgebiet den *Tierras Altas Sedimentarias* zu, genauer den *Montañas de Tactic, Tukurú und Senahú*. Als weit verbreitete geomorphologische Form in den Massengebirgen Guatemalas erwähnt LENTZ (1925) die *Barrankos*. Barrankos sind erosionsschluchtartige Großformen der Zerstörung in den Lockermassen. Dabei ist die Wasserführung der Barrankos im Verhältnis zu ihren Ausmaßen mit Ausnahme von

Starkregenereignissen während der Regenzeit relativ gering. Diese Barrankos kommen auch im Untersuchungsgebiet in Alta Verapaz vor.

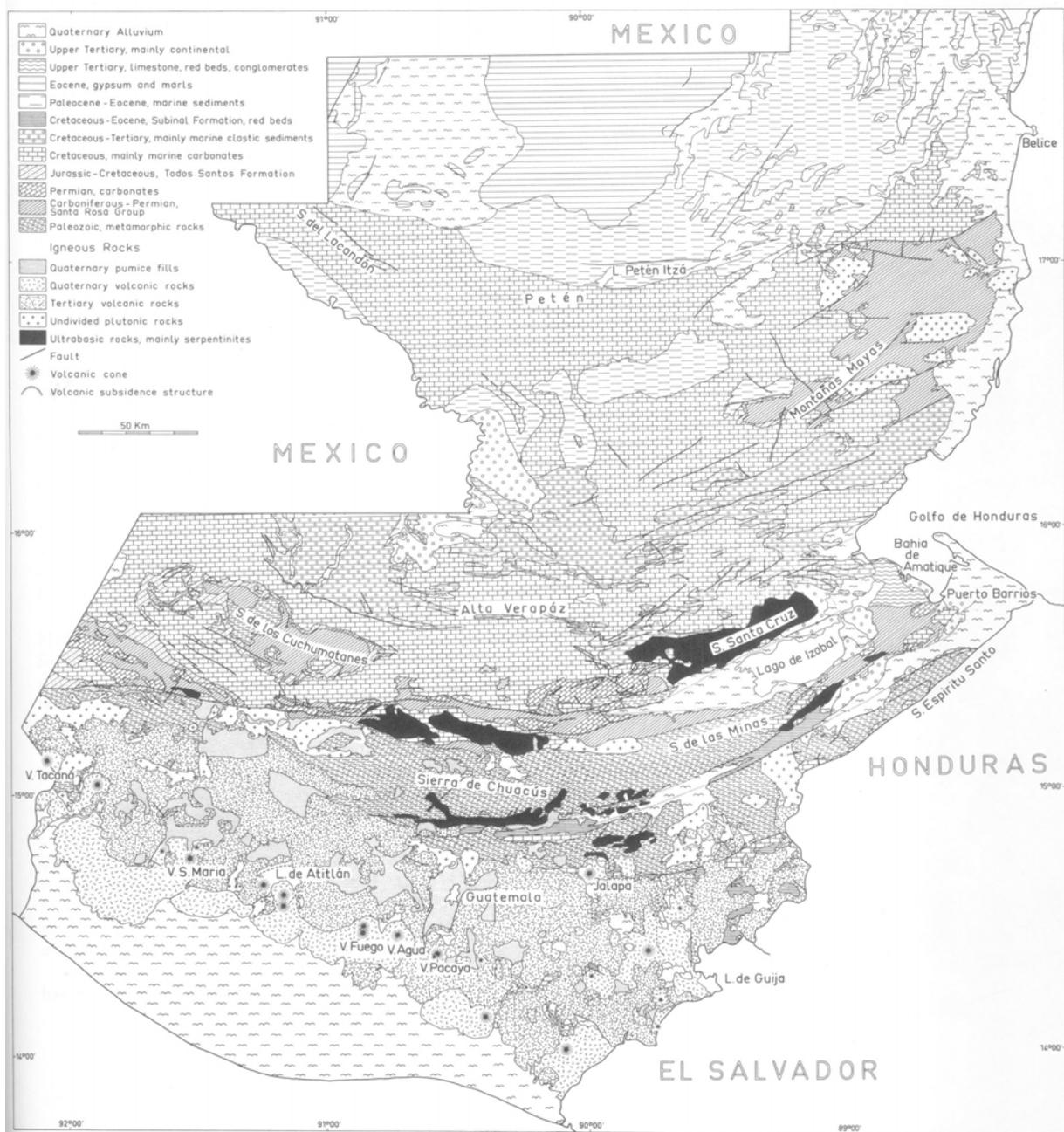
3.4.1 Geologie Guatemalas

Geologisch gesehen weist Guatemala eine große Bandbreite auf: von quartären Alluvialsedimenten am Pazifik erstreckt sich die geologische Situation über alle geologischen Altersstufen wie quartäre sedimentäre Ablagerungen aus der Kreidezeit, tertiäre metamorphe Gesteine wie die Sierra de las Minas sowie marine Sedimente aus Paleozän und Eozän im Petén (Karte 6). Eine detaillierte Übersicht über die Geologie Guatemalas liefert WEYL (1980a,b) sowie DONNELLY et al. (1990), MICHAUD et al. (1992), WALPER (1960), FOURCADE et al. (1999), FOURCADE et al. (1994) und SCOTT (1995).



Karte 5: Geologie Mesoamerikas im geotektonischen Kontext (Quelle: FOURCADE *et al.* 1999, verändert von CACAO 2003)

Die Untersuchungsregion ist deutlich durch die geotektonische Entwicklung im Polocic-Tal aufgrund des Aufeinandertreffens von karibischer und nordamerikanischer Platte beeinflusst worden (Karte 5). Dadurch verursachte Erdbeben können nach BOMMER & RODRÍGUEZ (2002) zu enormen Hangrutschungen führen und somit verstärkt zum Bodenverlust und auch zur Bodenbildung beitragen.

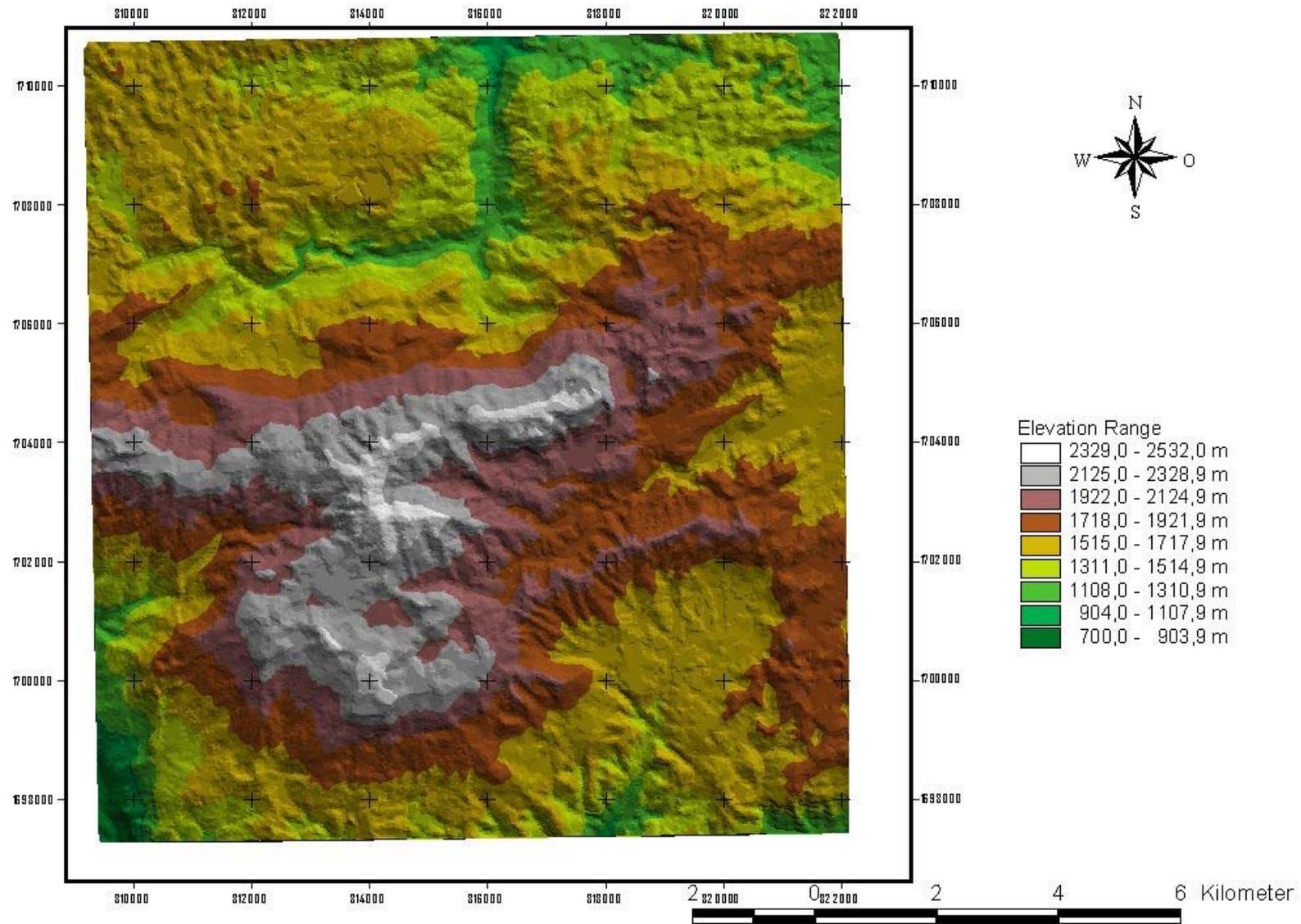


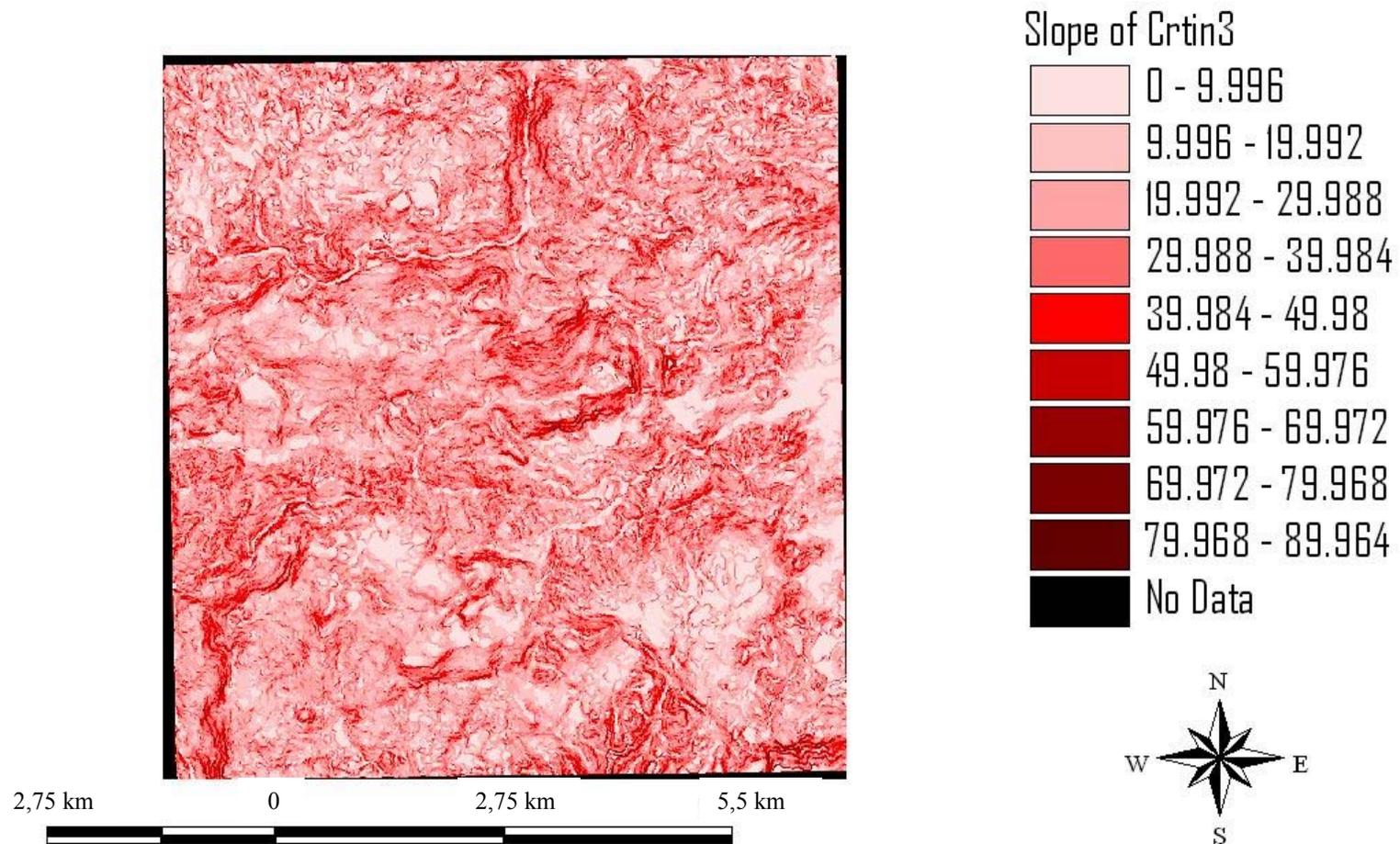
Karte 6: Geologische Karte von Guatemala (Quelle: WEYL 1980a)

3.4.2 Topographie der Sierra Yalijux

Die Topographie der Sierra Yalijux ist insgesamt von einer starken Reliefenergie geprägt. Die Höhen schwanken zwischen 700 und 2.532 m üNN (Karte 7). Enorme Hangneigungen sind die Folge (Karte 8). Charakteristisch sind die Karsterscheinungen. Vor allem Karstkleinformen sind häufig anzutreffen wie Dolinen, Tropfsteine, Karsthöhlen sowie unterirdische Lösungsverwitterung im Pedon. Die Karsthöhlen werden von der Maya-Q'eqchi-Bevölkerung häufig als rituelle Stätten genutzt. Auch Karstflüsse treten vereinzelt auf, die abschnittsweise oberirdisch fließen aber auch stellenweise einen rein unterirdischen Lauf haben.

Karte 7: Höhenstufen im Projektgebiet "Reserva Privada Chelemhá"





Karte 8: Hangneigungsstufen im Projektgebiet „Reserva Privada Chelelhá“ [Angaben in °]

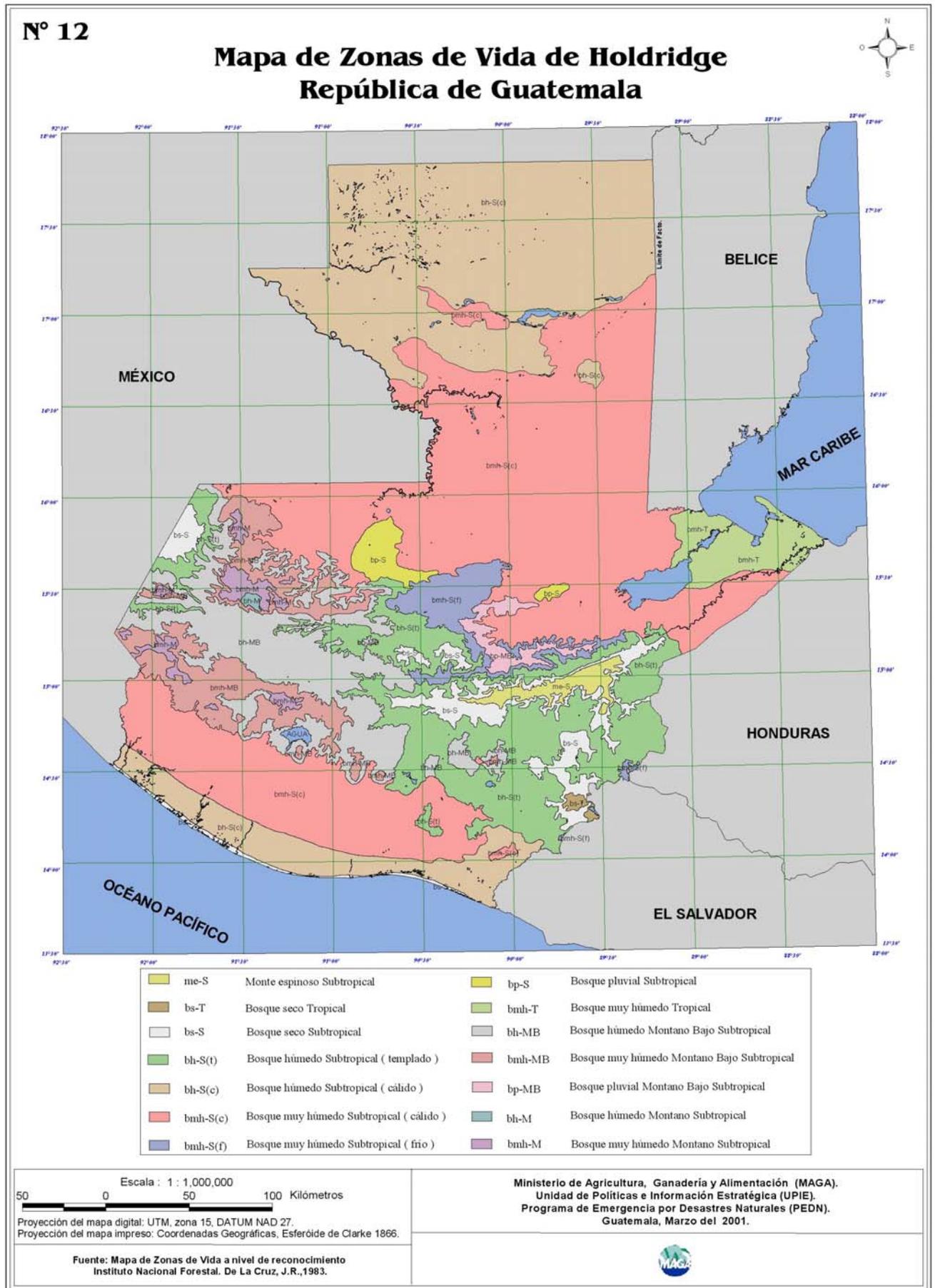
3.5 Vegetation

Nach VILLAR ANLEÚ (1998a) kommen in Guatemala annähernd 7.754 Arten von Gefäßpflanzen vor. Zahlreiche davon werden als Medizinalpflanzen genutzt und sind somit auch von hoher traditioneller und funktioneller Bedeutung. An den Höhengürtel der tropischen Bergregenwälder schließt sich ab 1.800 m üNN die Zone der tropischen Bergnebelwälder an. Nach FÜRSTENBERG (1966) herrschen in diesem mesoamerikanischen Höhengürtel vor allem verschiedene Eichenarten vor (*Quercus spp.*). Außerdem prägen Baumfarne und Kiefern das Landschaftsbild, vor allem *Pinus maximonii*, *Pinus sylvestris*. Nach DE LA CRUZ (1982) kommen im Untersuchungsgebiet vor allem folgende Pflanzen vor: *Podocarpus oleifolius*, *Alfaroa costarincensis*, *Engelhardtia spp*, *Billia hippocastrum*, *Magnolia guatemalensis*, *Brunellia spp*, *Oreopanax xelapense*, *Hedyosmun mexicanum* und *Gunnera spp*.

3.5.1 Vegetationszonierung Guatemalas

DE LA CRUZ (1982) hat eine Zonierung nach Ökozonen Guatemalas von HOLDRIDGE (1967) übernommen, die *Zonas de Vida de Holdridge*. Demnach ist das Untersuchungsgebiet einzustufen als bP-MB [Bosque pluvial Montano Bajo Subtropical] im Übergang zu bmh-S(c) [Bosque muy húmedo Subtropical (cálido)], also niederer subtropischer Bergregenwald und sehr feuchter subtropischer Wald (warm) (siehe Karte 9).

Die Waldverteilungskarten Guatemalas sind sehr mosaikartig erstellt (MAGA 2001). Für die Sierra Yalijux werden Laubwälder, Kiefern-Ackerbau sowie Mischwald-Ackerbau angegeben. Die Flora Guatemalas wird von STEYERMARK (1950) als die reichste und diversifizierte aller zentralamerikanischen Länder bezeichnet. Hierfür werden verschiedene Gründe genannt. Nicht nur die Kombination aus verschiedenen klimatischen, physiographischen und edaphischen Bedingungen ist dafür verantwortlich, sondern auch die lange und diverse geologische Geschichte. Einen Überblick über die verschiedenen Nahrungspflanzen in Guatemala liefert STANDLEY (1946). Bei der Kategorie ökotrophologisch genutzter Pflanzen ist die Diversität nicht sehr groß, da vor allem Mais und Bohnen konsumiert werden. Das Potenzial des Anbaus von Kultur- und Nutzpflanzen hingegen ist sehr hoch (vgl. Kapitel 3.6), wird derzeit jedoch nicht hinreichend ausgeschöpft, obwohl es zur Ernährungssicherung beitragen könnte.



Karte 9: Ökozonale Zonierung Guatemalas nach DE LA CRUZ (1983), Quelle: MAGA 2001

3.5.2 Vegetation der Sierra Yalijux

Die Vegetation der Sierra Yalijux ist sehr artenreich. Die Karte 2 (S. 19) deutete bereits für die Gefäßpflanzen eine sehr hohe Diversität an. Für die Klimaxvegetation sind vor allem Kiefern (*Pinus* spp.) und Eichen (*Quercus* spp.) typisch, verbunden mit dem Vorkommen von Bromelien (*Bromeliaceae*), Baumfarne (*Cyatheaceae*, *Dicksoniaceae*), sowie *Solanaceae*. Der Bergnebelwald liefert zudem ein optimales Habitat für Epiphyten und zahlreiche Orchideen (*Orchidaceae*), darunter die Nationalpflanze Guatemalas Monja Blanca (*Lycaste Skinnen alba*) (ARCHILA 2001). Eine wichtige Funktion für die Flora und Fauna übernimmt das Totholz. Abgestorbene Bäume trocknen nicht aus, speichern stattdessen viel Feuchtigkeit und bilden somit ein neues Habitat für Flora und Fauna.

Eine sehr umfangreiche botanische Aufnahme der Vegetation der Sierra Caquipec gelang FÖRTHNER & ROBLES (1998). Weitere Vegetationsaufnahmen und -beschreibungen unternahm EISERMANN (1999), SCHULZ & UNGER (2000) sowie die URWALDFORSCHUNG (2002). Neben der Klimaxvegetation zeigt das folgende Kapitel auf, wie groß das Potenzial von Kultur-, Zier- und Nutzpflanzen in der Region ist.

3.6 Land- und Forstnutzung

MAGA 2001 stellt eine vorläufige Karte bezüglich der Landnutzungskapazitäten nach USDA-Methodologie vor (Karte 10, S. 33). Demnach ist die Untersuchungsregion als nicht kultivierbar klassifiziert, geeignet nur zum Zwecke des forstlichen Anbaus, aufgrund des unebenen Reliefs mit sehr starken Hangneigungen (siehe Karte 8, S. 28). Aufforstungen werden nun zunehmend seit 1997 durchgeführt, gefördert durch das PINFOR-Programm (vgl. Kapitel 4.3).

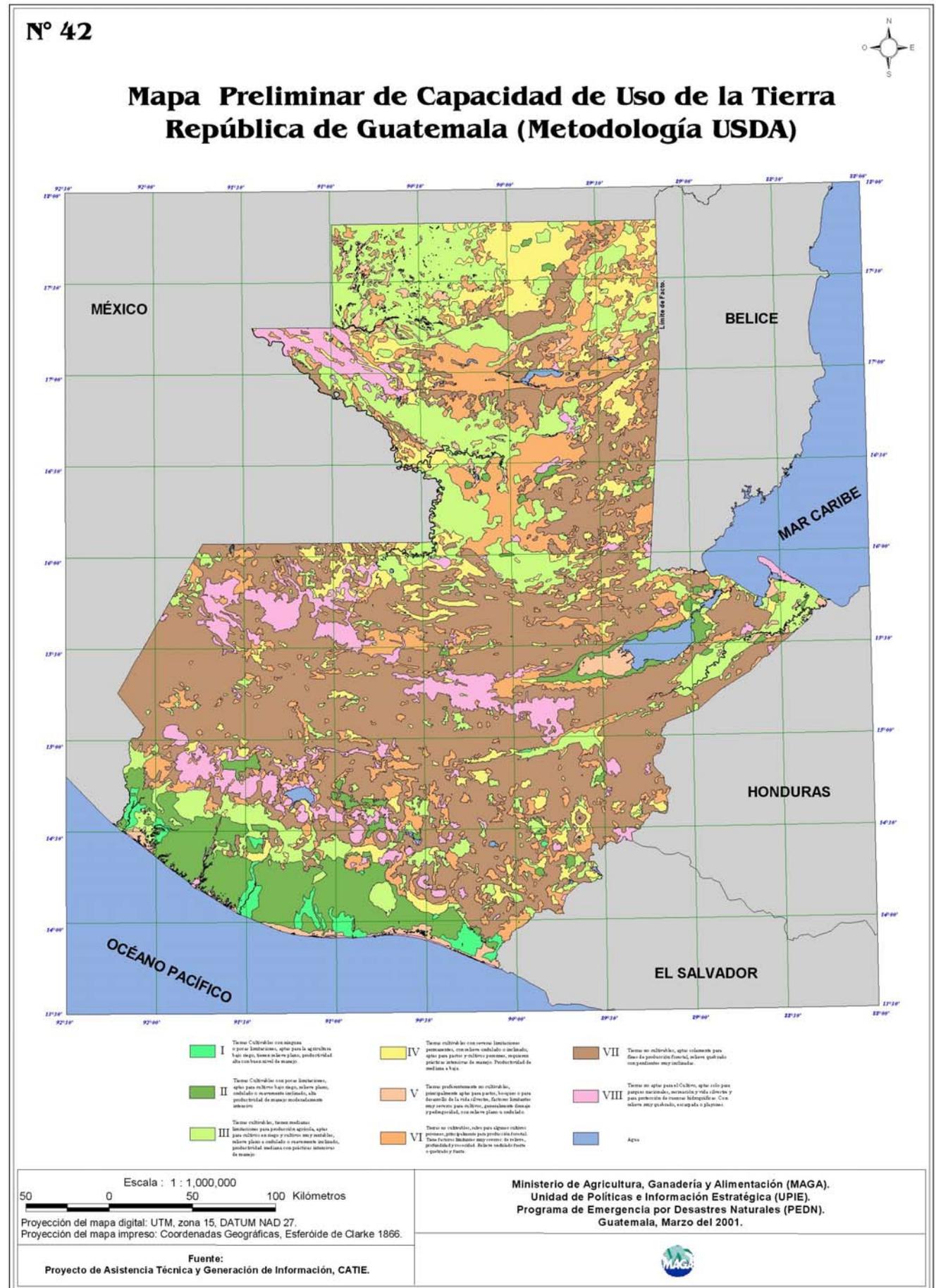
Die Landnutzung erfolgt derzeit im Untersuchungsgebiet bis auf ungefähr 2.000 m üNN. Traditionell werden von der indigenen Maya-Bevölkerung fast ausschließlich Mais und Bohnen, zum Teil in Kombination mit Kürbis angebaut (*milpa*-System). Eine detaillierte Beschreibung des *milpa*-Anbaus und ihrer Bewirtschaftung, sowie der Kolonisation und Landrodung siehe Kapitel 4.

Abgesehen vom *milpa*-Anbau werden von den mit Kapital ausgestatteten *Finceros* in der Region vor allem Kardamom (*Elettaria cardamomum* (L.) Maton) sowie Kaffee (*Coffea arabica*) angebaut.

Die folgende Liste der Kultur-, Nutz- und Zierpflanzen, die auf den Testflächen der Reserva Privada Chelemhá derzeit angebaut werden, deutet mit 105 verschiedenen Arten auf ein sehr hohes agro-diversitäres Potenzial in den Bergnebelwaldregionen Guatemalas hin (Tabelle 4).

Arracach	<i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancroft	Nektarine	
Himbeere	<i>Rubus idaeus</i>	Mais	<i>Zea mays</i> L.
Apfel (verschiedene Sorten)	<i>Malus sylvestris</i>	Tzoloch	
Birne	<i>Pyrus pyraeaster</i>	Hortensie	Hydrangea
rote Pflaume	ciruela roja (<i>Spondias purpurea</i> L.)	Geranien	<i>Gerania</i> sp.
gelbe Pflaume	<i>Spondias mombin</i> L.	Gladiole	<i>Gladiolus</i> sp.
Lulo (Naranjilla)	<i>Solanum quitoense</i> Lam.	Amaryllis	<i>Amaryllis</i> sp.
Aprikose	durazno, <i>Prunus persica</i> (L.) Batsch	Zitronengras	<i>Cymbopogon citratus</i> [DC.] Stapf
Pfirsich	melocotón, <i>Sicana odorifera</i> (Vell.) Naud.	Dachgras (bája)	
Bohne	piloy, <i>Phaseolus vulgaris</i>	Macui	
Avocado (verschiedene Sorten)	<i>Persea americana</i> Mill., Lauraceae	Bambus	<i>Dendrocalamus asper</i> (Schult.) Backer ex Heyne
Haselnuss	<i>Corylus avellana</i>	Limone	
Annona	<i>Annona</i>	weitere Citrusbäume	<i>Rutaceae</i>
Chirimoya	<i>Annona cherimola</i> Mill.	Kakipflaume	<i>Diospyros kaki</i> Thunb.
Mispel	<i>Mespilus germanica</i>	Pfefferminze	<i>Mentha piperita</i> L.
Orange	<i>Citrus sinensis</i> (L.)	Pacaya	
Banane		15 verschiedene Orchideenarten	
Amarant	<i>Amaranthus tricolor</i> L.	Kaduschos	
Zuckerrohr	<i>Saccharum officinarum</i> L., Gramineae	Walnuss	<i>Juglans regia</i>
Strelizie		Edelkastanie	<i>Castanea sativa</i>
Holunder		Stilmangold	<i>Beta vulgaris</i> spp. vulgaris
Erdebeere	<i>Fragaria ananassa</i> Duch.	Schnittlauch	<i>Allium schoenoprasum</i> L.
Agave	<i>Aloe barbadensis</i>	Basilikum	<i>Ocimum basilicum</i>
Weintraube	<i>Vitis</i>	Ölranke (Rucola)	
Blaubeere	<i>Vaccinium myrtillus</i> LINNÉ	Stachelbeere	<i>Ribes uva-crispa</i>
Brombeere	<i>Rubus fruticosus</i>	Thymian	<i>Thymus serpyllum</i>
Passionsfrucht (2 Sorten)	Granadilla Passifloraceae	Johannesbeere	
Spargel	<i>Asparagus officinalis</i> L.	Brokkoli	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>italica</i> Plenck
Karotten	<i>Daucus carota</i> L.	Kohlrabi	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>gongylodes</i> L.
Kopfkohl	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>capitata</i> L.	Rharbarber	<i>Rheum rhabarbarum</i> L.
Kürbis	guisquil, <i>Cucurbita</i> spp.	Baumchili	
Baumtomate	<i>Cyphomandra betacea</i> (Cav.) Sendtn.	Neuseelandspinat	<i>Tetragonia tetragonioides</i>
Tabak	<i>Nicotiana tabacum</i> L.	Salbei	<i>Salvia lavandulifolia</i>
roc'tix		Rosmarin	<i>Rosmarinus officinalis</i>
Kartoffel	<i>Solanum tuberosum</i> L.	Oregano	<i>Origanum vulgare</i> L.
Schwarzwurzel	<i>Scorzonera hispanica</i> L.	Pimpernell	
Zypresse	<i>Cupressus</i> spp.	Bohnenkraut	<i>Satureja hortensis</i>
Kiefer	<i>Pinus</i> spp.	Arrayan	<i>Myrica cerifera</i>
Eiche	<i>Quercus</i> spp.		
Avocatillo			
Na			
Elefantenohrepflanze			
Rotkohl	<i>Brassica oleracea</i> L. convar. <i>capitata</i> (L.) Alef. var. <i>rubra</i> DC.		
Weisskohl	<i>Brassica oleracea</i> L. convar. <i>capitata</i> (L.) Alef. var. <i>alba</i> DC.		
Rosenkohl	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>gemmifera</i> DC.		
Radieschen	<i>Raphanus sativus</i> L.		
Salat	<i>Lactuca sativa</i> L.		
Blumenkohl	<i>Brassica oleracea</i> L. var. <i>botrytis</i> L.		
Margarithen			
Lilie			
Schnurpflanze (pejuco)			

Tabelle 4: Potentielle Agrodiversität: Kultur-, Nutz- und Zierpflanzen im experimentellen Garten der Reserva Privada Chelemhá



Karte 10: Landnutzungskapazität Guatemalas nach USDA-Methodologie, Quelle: MAGA 2001

3.7 Böden

Nach SIMMONS et al. (1959) kommen im Hochland von Alta Verapaz vor allem Böden vor, die sich auf Kalkstein entwickelt haben. Dazu gehören Böden der Gruppe IB mit den Serien Chixoy und Tamahú, wozu überwiegend Oxisole zählen. In der vorliegenden Arbeit wurden die Bodentypen Oxic Humitropepts, Typic Eutropepts, Oxic Dystropepts respektive Ferralic, Eutric und Dystric Cambisol vorgefunden (Klassifizierung siehe Kapitel 6.1.4).

Die Erodibilität des Bodens charakterisiert die mehr oder weniger große Bodensensibilität gegen Erosionskräfte und wird bei MAGA (2001) für das Untersuchungsgebiet mit einem K-Faktor angegeben in Höhe von 0,112 bis 0,172 $t \cdot ha^{-1} \cdot m^2 \cdot kJ^{-1} \cdot h \cdot mm^{-1}$ (Guatemala: 0,004 bis 0,98 $t \cdot ha^{-1} \cdot m^2 \cdot kJ^{-1} \cdot h \cdot mm^{-1}$). Der Regenerositätsfaktor (R-Faktor) charakterisiert die Aggressivität des Bodens und beträgt in der Untersuchungsregion pro Jahr 361 bis 672 $kJ \cdot m^{-2} \cdot mm \cdot h^{-1}$ (Guatemala: 48 bis 1296 $kJ \cdot m^{-2} \cdot mm \cdot h^{-1}$). Die Erosionsgefährdung wird nur im Maßstab 1:1.000.000 angegeben, aber es zeichnet sich ab, dass stellenweise auch im Untersuchungsgebiet ein potenzieller Erosionsabtrag von über 150 t/ha/Jahr vorherrschen kann. UNICEF (2002) liefert in Bezug auf den Erosionsabtrag für Regionen mit Wald auf nationaler Ebene sogar Zahlen in Höhe von 200 bis 300 t/ha/Jahr und ohne Waldbedeckung von 700 bis 1000 t/ha/Jahr. Diese Werte müssen jedoch als überhöht angesehen werden, verdeutlichen aber die generelle Erosionsproblematik. JUÁREZ (1992) ermittelte für Teilgebiete im Einzugsgebiet des Rio Chixoy Erosionsraten von bis zu 4t/(km²*h). Weitere Arbeiten zu den bodenkundlichen Verhältnissen auf nationaler Ebene finden sich bei CASTAÑEDA et al. (1986).

3.8 Fauna

Guatemala weist aufgrund seiner Korridorlage zwischen den beiden amerikanischen Landmassen eine sehr hohe biologische Vielfalt auf. Allein an wild lebenden Tieren kommt VILLAR ANLÉU 1998 auf eine Artenzahl von 1651 Arten (Tabelle 5, exklusive Invertebraten).

Fische	260 (Süßwasser), 175 Salzwasser	435
Amphibien		106
Reptilien		209
Vögel		688
Säugetiere	189 terrestrisch, 24 aquatisch	213
Gesamt		1651

Tabelle 5: Anzahl der Vertebraten in Guatemala (VILLAR ANLÉU 1998b)

Im Untersuchungsgebiet sind bislang am besten und intensivsten die Vogelpopulationen untersucht worden. EISERMANN verfasste 1999 sehr umfangreiche Arbeiten zur avifaunistischen Ökologie als Grundlage für die Entwicklung eines Biomonitoringprogramms. 135 Vogelarten wurden in der Sierra Caquipec nachgewiesen, welches für den kleinen Untersuchungsraum als zahlreich angesehen werden kann. RENNER (2003) ermittelte

zusätzlich sechs weitere Arten. EISERMANN & SCHULZ (2002) konnten sechs Arten als Zielarten für den Nebelwaldschutz in der Sierra Caquipec ermitteln, dazu gehören der Quetzal (*Pharomachrus mocinno*), Schluchtenguan (*Penelopina nigra*), Gelbkauz (*Strix fulvescens*), Blaukehlmotmot (*Aspatha gularis*), Schwarzkehlhäger (*Cyanolyca pumilo*) sowie der Rostkehl-Laubwender (*Sclerurus mexicanus*). Hervorzuheben ist der Quetzal, da er als Nationalvogel Guatemalas und auch Namensgeber der guatemaltekischen Währung sehr populär ist. EISERMANN & SCHULZ betonen, dass in Bezug auf die Habitatanforderungen sowie der Habitatnutzung von z.B. *Strix fulvescens* und *Pharomachrus mocinno* sehr wenig bekannt ist und großer Forschungsbedarf besteht.

Neben den Vogelpopulationen sind bislang nur noch Arthropoden und Sciaridae in der Region untersucht worden (SCHULZ & MENZEL 2000, SCHUSTER, CANO & CARDONA 2000). Die Bedeutung der guatemaltekischen Bergnebelwälder für Flora und Fauna wird anhand regelmäßig neu entdeckter Arten deutlich (*Polyplax guatemalensis* sp. n.: DURDEN & ECKERLIN 2001, *Capsicum lanceolatum* (Solanaceae): BOSLAND & GONZALEZ 2000). Zur Charakterisierung der Biodiversität in Guatemala siehe BASIC REOURCES INTERNATIONAL LIMITED (1996), CABRERA (1996), CASTAÑEDA (1997), JANSON (2001). Eine anschauliche Übersicht über die vor dem Aussterben bedrohten Tiere in Guatemala liefert CONAP (2000).

3.9 Bevölkerung der Sierra Yalijux

In dem Untersuchungsraum lebt fast ausschließlich die Maya-Q'eqchi-Bevölkerung. In Guatemala gibt es insgesamt 21 verschiedene Maya-Ethnien mit gleichzeitig 21 verschiedenen Maya-Sprachen. Dabei stellt die Q'eqchi-Gruppe den viertgrößten Anteil dar (KURTENBACH 1998). Hinzu kommen noch drei Sprachen, die ihren Ursprung nicht in der Maya-Kultur haben: Xinka, Garífuna und Spanisch. Die Bevölkerungsdichte liegt im Landesmittel bei 105 Einwohner/km², das Bevölkerungswachstum bei ca. 3%. Die Bevölkerungsdichte liegt im Untersuchungsgebiet deutlich unter dem Landesmittel, das Bevölkerungswachstum hingegen deutlich darüber. Detaillierte Zahlen für den Untersuchungsraum liegen nicht vor.

4. HISTORISCHE GRUNDLAGEN, HEUTIGE LANDNUTZUNG UND NATURSCHUTZ IN GUATEMALA

„Land-use changes and development possibly exert the most significant pressures on terrestrial ecosystems and on biodiversity in general.“

(aus: OECD 1999, S. 49).

Die Landnutzung der Maya-Q'eqchi-Bevölkerung ist geprägt von der historischen Entwicklung der mesoamerikanischen Region. Das heutige Guatemala war in der Zeit von 300 bis 900 n. Chr. Kerngebiet des Maya-Reiches, der geographische Schwerpunkt lag im Tiefland des Petén. Noch bevor die Konquisition seitens der Spanier begann, waren Migrationsbewegungen in die Bergregionen zu verzeichnen. Dieses führte zur Aufgabe von großen Besiedlungsräumen wie z.B. Tikal. Vor allem ökologische Probleme, langanhaltende Dürren und Überbevölkerung werden als Gründe für diese Migration genannt (KURTENBACH 1998). Die Kolonisation durch die Spanier mit der Eroberung durch Pedro de Alvarado beendete die Hochkultur der Maya-Bevölkerung. Es folgten drei Jahrhunderte spanischer Herrschaft, die wiederum große Einflüsse im Hinblick auf die Landnutzung nach sich zog: Neue Anbaufrüchte wurden eingeführt. Vor allem Kaffee und Bananen dominieren seit 150 Jahren die guatemalteckische Wirtschaft. Am 15. September 1821 erreichte Guatemala die Unabhängigkeit von Spanien.

4.1 Kurzer Überblick über die Siedlungsgeschichte der Maya

Die ersten Siedler der Mayakultur lassen sich ab 2.000 v. Chr. in mesoamerikanischen Flussauen nachweisen. WILHELMY (1981) sieht die ursprüngliche Heimat der Maya-Bevölkerung „mit großer Wahrscheinlichkeit an der zum Pazifischen Ozean abfallenden Gebirgsflanke Guatemalas und in dem ihr vorgelagerten Küstensaum“. Bis heute hat die Mayakultur verschiedene Epochen durchlebt, verbunden mit Blütezeiten aber auch Niedergang und Verfall diverser Stätten. Nach der vorklassischen oder formativen Periode (1.500 v. Chr. - 100 n. Chr.) schlossen sich die protoklassische (100-300 n. Chr.) sowie die klassische Periode an (300-900 n. Chr.). Danach folgte die nachklassische Periode (900-1.520 n. Chr.) sowie ab 1.520 n. Chr. die Kolonialzeit. Es sei an dieser Stelle auf weiterführende Arbeiten hinsichtlich der Geschichte der Mayakultur in NATIONAL GEOGRAPHIC (2003) und RIESE (2002) verwiesen.

4.2 Landnutzung der Maya

SAPPER (1936a) liefert als einer der ersten einen Beitrag zur historischen Geographie und Ethnographie des nordöstlichen Guatemala, indem er sich der Region Verapaz im 16. und 17. Jahrhundert widmet. Er beschreibt bereits für das 16. Jahrhundert das Hochland der Verapaces als Gunstraum der Landwirtschaft im Gegensatz zum naheliegenden Tiefland. Er begründet dies mit den besseren klimatischen Verhältnissen sowie mit guten bodenkundlichen Ausgangsbedingungen, da „der Boden durch einst herbeigewehte vulkanische Lockermassen ergiebiger und ausdauernder ist“ (SAPPER 1936a). Dieser Eintrag von vulkanischen Lockermassen ist jedoch sehr differenziert zu betrachten, da dieser nur regional zutrifft.

Außerdem steht die Aussage von SAPPER im Widerspruch zu der Tatsache, dass die fruchtbaren Böden vor allem in tieferen Lagen zu finden sind und sich somit vor allem die Großgrundbesitzer auch in den tieferen Lagen angesiedelt haben und Tagelöhner die Ländereien in weiter oben gelegenen Regionen zugeteilt bekamen. In diesen Regionen kommen erschwerend die für die Landwirtschaft negativ zu beurteilenden klimatischen Faktoren hinzu. In den Hochlagen ist nur eine einmalige Maisernte möglich. Im Tiefland hingegen sind es meist zwei Ernten pro Jahr.

Hierzu formuliert SAPPER bereits 1899: „Eine Bodenkarte würde im grossen Ganzen eine Wiederholung der geologischen Karte sein, wenn nicht durch Wasser, Wind und vulkanischen Eruptionen fremdes Material in manchen Gebieten zur Ablagerung gelangen würde, und zweitens, wenn nicht das Klima auf die Umänderung der oberflächlichen Gesteinslagen und Bodenarten einen bedeutenden Einfluss hätte. Die erstgenannten Faktoren erreichen in einem grossen Teile des nördlichen Mittelamerika nur lokale Bedeutung, so dass thatsächlich für diese Gebiete, in denen eluviale Böden herrschen, die Bodenkarte zu einer schematischen Wiederholung der geologischen Karte wird; aber auch hier verursacht die Verschiedenheit des Klimas teils unmittelbar, teils mittelbar durch die Vegetation manche bedeutungsvolle Unterschiede, und schliesslich ist auch mittelbar die Art der Oberflächengestaltung von Bedeutung für die Ausbildung der Böden.“ Demnach waren zahlreiche Faktoren für die Flächenwahl der Maya-Bevölkerung ausschlaggebend: Günstige Bodenverhältnisse in Verbindung mit Klimagunsträumen und Reliefbedingungen.

Die WORLD BANK (2001) untergliedert die aktuelle Landnutzung nur sehr grob: 12,5% sind pflügbares Land, 5,0% sind Dauerkulturland, 82,4% werden als andere Landflächen ausgewiesen. Der zunehmende Druck durch die wachsende Bevölkerung wird deutlich, wenn man die Größe des pflügbar Land pro Einwohner betrachtet: Im Zeitraum 1979-81 waren es 0,19 ha, 1996-98 hingegen nur noch 0,13 ha.

Verstärkend hinzu kommt die Armutssituation (LÖNING 2002, WORLD BANK 2003). Nach der WORLD BANK (2001) leben 57,9% der Bevölkerung unterhalb der Armutsgrenze, 10% müssen sogar mit weniger als einem Dollar pro Tag auskommen, 46% haben weniger als zwei US-Dollar pro Tag zur Verfügung. Dieser Zustand bestimmt in erster Linie die Landnutzung. Im Vordergrund steht Subsistenzwirtschaft mit Anbau von Mais, Bohnen und Kürbissen in Form des *milpa*-Systems.

4.2.1 Kolonisation

In der Literatur gibt es widersprüchliche Angaben und häufig ist schwer nachzuvollziehen, wie sich die tatsächlichen Migrationsströme in Guatemala bewegten. Es gibt Arbeiten, in denen Kolonisationsbewegungen vom Hoch- ins Tiefland angegeben werden (BURGDORFF 2002), gleichzeitig aber auch Bewegungen vom Tief- ins Hochland. Auch WILHELMY (1981) deutet auf den Klärungsbedarf hinsichtlich der Wanderungen in Guatemala hin.

BURGDORFF (2002) verweist auf die Migrationsbewegungen bereits zu präkolumbianischen Zeiten, jedoch verstärkt sich die Kolonisation mit der Missionierung durch die Spanier. Das *hacienda*-System führte zu einer Verdrängung der indianischen Bevölkerung auf die schlechten Böden. Auch die Arbeitskräftenachfrage sorgte für interne und intraregionale Wanderbewegungen, nach BURGDORFF (2002) vorrangig vom Hochland zu den in Küstengebieten gelegenen Kaffee- und Bananenplantagen. Für die Untersuchungsregion gilt, dass die großen *Fincas* in der Regel in Höhen mit gemäßigttem Klima angelegt waren, so dass auch Anbau vor allem von Kaffee und Kardamom erfolgen konnte. Die Lohnarbeiter erhielten demnach Flächen zum eigenen Anbau in höher gelegenen, klimatisch ungünstigeren Bereichen.

Hinsichtlich der Besiedlung in der Sierra Yalijux erwähnt SAPPER (1936a), dass das Hochland recht wenig besiedelt war. So wurde zum Beispiel das Gebiet des Tzalamilágebirges erst 1864 nach Niederschlagung eines Aufstandes an anderer Stelle neu besiedelt. Dieses Tzalamilágebirge liegt in unmittelbarer Nähe zum Untersuchungsgebiet.

Die internationale Migrationsproblematik Guatemalas wurde stark gefördert durch die vom Militär durchgeführten Vertreibungen sowie Flüchtlingsbewegungen während des Bürgerkrieges von 1960 bis 1996. Hier seien auch die vom Militär gezielt durchgeführten Errichtungen von Modelldörfern genannt, um die indigene Bevölkerung in den Kampf gegen die Guerilla einzubinden. Im Untersuchungsgebiet ist Yalijux ein solches Modelldorf, welches Anfang der 80er Jahre gegründet wurde.

Guatemala weist aktuell einen sehr hohen Anteil an ländlicher Bevölkerung auf. Nach der WORLD BANK (2001) lebten 1999 61% der Bevölkerung auf dem Land. Der jährliche Bevölkerungszuwachs liegt im Landesdurchschnitt bei 2,6% und wird auch für den Zeitraum von 1999-2015 auf 2,4% geschätzt. Somit wäre 2015 eine Bevölkerungsanzahl von 16,4 Millionen erreicht, während es 1980 noch 6,8 Millionen waren.

Die Siedlungsgebiete reichen heute im Untersuchungsgebiet bis ca. 2.000 m üNN heran und liegen somit direkt an der Waldgrenze des guatemalteckischen Bergnebelwaldes. Seit einigen Jahren ist die Landbesetzung ein Phänomen in Guatemala, welches sich mehr und mehr ausweitet. Auch im Projektgebiet waren zur Zeit der Feldaufnahmen bereits erste Flächen von landlosen Bauern besetzt und mit einer ersten *milpa*-Ansaat bestellt worden. Im Mai 2002 wurden die *Fincas Remedios* bzw. *Finca El Salto* durch Familien aus Govadonga und Sepacay besetzt. Zwei Plakate mit Werbung für CONIC dienen als Demonstration, provisorische Hütten wurden in drei Reihen hintereinander erstellt und selbstorganisiertes Wachpersonal eingesetzt.

Ein großes Problem im Hinblick auf die Landnutzung in Guatemala ist die Verteilung des Landesbesitzes sowie die Vergabe von Landtiteln. Die in Guatemala sozial sehr ungleiche Verteilung der Landtitel zeigt die Tabelle 6. Bereits 1987 deutet GÓMEZ-POMPA darauf hin, dass es zwei Arten von *shifting agriculture* in Mittelamerika gibt: die mit legale Rechten und die ohne legalen Rechte zum Land (Tabelle 7). Daraus resultieren unterschiedliche Probleme für die nachhaltige Nutzung der natürlichen Ressourcen.

Nutzungsgröße	Anzahl der Betriebe	%	Anbaufläche [ha]	%	Durchschnitt
< 7 ha	543.633	90	968.622	16	2
7 - 45 ha	49.115	8	1.108.122	19	23
> 45 ha	13.628	2	3.831.399	65	281
Gesamt	606.376	100	5.908.143	100	10

Tabelle 6: Landverteilung in Guatemala 1979 (Quelle: VALENZUELA DE PISANO 1996)

mit legalen Landrechten	ohne Landrechte
vorsichtiges Brennen	achtlosen Brennen
Anbau von mehrjährigen Pflanzen	keine mehrjährigen Pflanzen
achtsame Bodenauswahl	keine Auswahl von Böden
Suche nach optimaler Brache	Missachtung der Brachezeiten
Schutz brauchbarer Bäume	kein Schutz
Mittel- bis langfristige Planung	Kurzzeitplanung

Tabelle 7: Zwei Arten von Brandrodungsfeldbau in Mexiko (nach GÓMEZ-POMPA 1987)

4.2.2 Landrodung

Die Formen der historischen Waldnutzung im spanischen Nord- und Mittelamerika während der Kolonialzeit vom 16. bis zum 18. Jahrhundert hat FÜRSTENBERG (1966) zusammengestellt. Demnach hatte der Brandrodungsfeldbau bereits im 13. Jahrhundert derart überhand genommen, dass der Aztekenherrscher Nopaltzin das Anlegen von Brandflächen ohne seine ausdrückliche Erlaubnis unter Androhung der Todesstrafe verbot.

„So ist denn zu hoffen, daß kein neuer Eingriff mehr erfolge und daß die wilde Vegetation allmählich die geschlagenen Lücken wieder fülle und nach und nach den Reiz des zusammenhängenden Urwalds wieder hervorbringe!“ (aus: SAPPER 1929, S. 172)

Bereits 1929 schildert SAPPER die zunehmende Landrodung für die Ausweitung von Bananenplantagen, „diese steigen nunmehr hoch am Gebirge hinauf und haben dort auf ansehnlichen Strecken den Urwald verdrängt“. An anderer Stelle schreibt er, die Landschaftsveränderung habe „landschaftlich zu einer beträchtlichen Verminderung der Naturschönheiten der Gegend geführt [...], insofern der einst so weitverbreitete unberührte Urwald mit seinen wundervollen Baumriesen und seinen herrlichen Corozopalmen jetzt nicht mehr in breiter Fläche bis zur Bahnlinie heranreicht, sondern auf viele Kilometer Entfernung durch Sekundärwald und Bananenpflanzungen ersetzt ist.“

Betrachtet man die aktuellen Rodungstechniken in der heutigen Zeit und vergleicht diese mit historischen Beschreibungen aus der alten Mayazeit (vgl. WILHELMY 1981), so sind kaum Unterschiede zu erkennen. Zeitlicher Ablauf und methodisches Vorgehen sind damals wie heute identisch.

4.2.3 Anbau und Bewirtschaftung – Das *milpa*-System

Die charakteristische Landnutzung der Maya-Q'eqchi-Bevölkerung ist das *milpa*-System. Zur initialen Rodung wird der Wald mit Axt und Machete, inzwischen auch Motorsägen, zu Beginn der Frühjahrstrockenzeit geschlagen, wobei ausschließlich über der Oberfläche geschlagen wird, die Wurzeln werden in der Regel nicht bearbeitet. Das nutzbare Holz wird zum Hausbau verwendet und als Brennholz für den täglichen Gebrauch gesammelt. Gegen Ende der Trockenzeit wird die Fläche gebrannt, wonach im März und April nach den ersten Niederschlägen der Anbau und die Bewirtschaftung in Form des *milpa*-Systems beginnt.

Das *milpa*-System erfolgt dann in mehreren Phasen: Zunächst werden Anfang März die Flächen ‚gereinigt‘. Erntereste werden umgeschlagen. Sofern die Fläche einige Jahre brach lag, wird die rasch nachwachsende Sekundärvegetation abgeholzt (eine deutliche Biomasseproduktion ist bereits nach einem Jahr zu verzeichnen). Mitte März, am Ende der Trockenzeit, werden die Erntereste des Vorjahres oder die sekundäre Buschvegetation verbrannt. Dabei werden um die brennenden Flächen jeweils 1,50 m am Rand der Fläche von Trockenmaterial freigeräumt, damit ein kontrolliertes Brennen erfolgt. So wird in der Region auch nur sehr selten ein ungewolltes Übergreifen der Flammen auf benachbarte Waldstücke verzeichnet. Ende März/Anfang April werden Mais (*Zea mays*) und Bohnen (*Phaseolus vulgaris*), z.T. auch Kürbissorten (*Pepo maximus* und *Pepo vulgaris*), in Form von rituellen Handlungen gepflanzt, dabei dient ausschließlich ein Pflanzstock als Hilfsmittel, womit das Pflanzloch in den Boden gestanzt wird. So werden fünf bis sieben Maiskörner pro Pflanzloch gesät. Bohnen und Mais werden meist ins gleiche Pflanzloch gesät. Die Bohne kann somit den Mais als Rankmöglichkeit nutzen, der Mais indessen die Vorteile der Stickstofffixierung

durch die Leguminosen. Die Kürbisbepflanzung hemmt bei Starkregen die erosive Kraft des Regens, zudem stellt sie einen zusätzlichen Eintrag an Biomasse dar. Aus der Kombination dieser drei Feldfrüchte ergeben sich viele Vorteile, so formulierte SAPPER 1913 bereits, „daß dieses Zusammenleben die Ertragsfähigkeit des Maises nicht beeinträchtigt“.

Nach dem Keimen der Pflanzen wird insgesamt zweimal während der Vegetationsperiode die landwirtschaftliche Nutzfläche von Unkraut befreit. Der genaue Zeitpunkt ist abhängig von den Witterungsverhältnissen und dem damit verbundenen Pflanzenwachstum.

Neuerdings wird in Anfängen zusätzlich Viehzucht auf den brachliegenden Flächen betrieben. Die Ernte 2001 wurde von der einheimischen Bevölkerung im Untersuchungsgebiet als recht gut eingeschätzt, zumindest im direkten Vergleich zum Vorjahr 2000. In Gesprächen mit Bewohnern der Gemeinde Las Puertas wurde deutlich, dass man alternativ zum *milpa*-Anbau auch Gemüse anbauen könnte. Es gibt jedoch Vorbehalte, dass es zu arbeitsintensiv und zu zeitaufwändig sei. Hier wird deutlich, dass es vor allem auch für Entwicklungshilfeprojekte in der Region enorm schwierig ist, auf die Traditionen der Maya-Q'eqchi-Bevölkerung einzuwirken.

Der Mais ist die Lebensgrundlage der Maya und wird zudem als heilig angesehen. Somit sind vielfältige Rituale mit der Einsaat und mit der Ernte des Maises verbunden.

4.3 Naturschutz in Guatemala

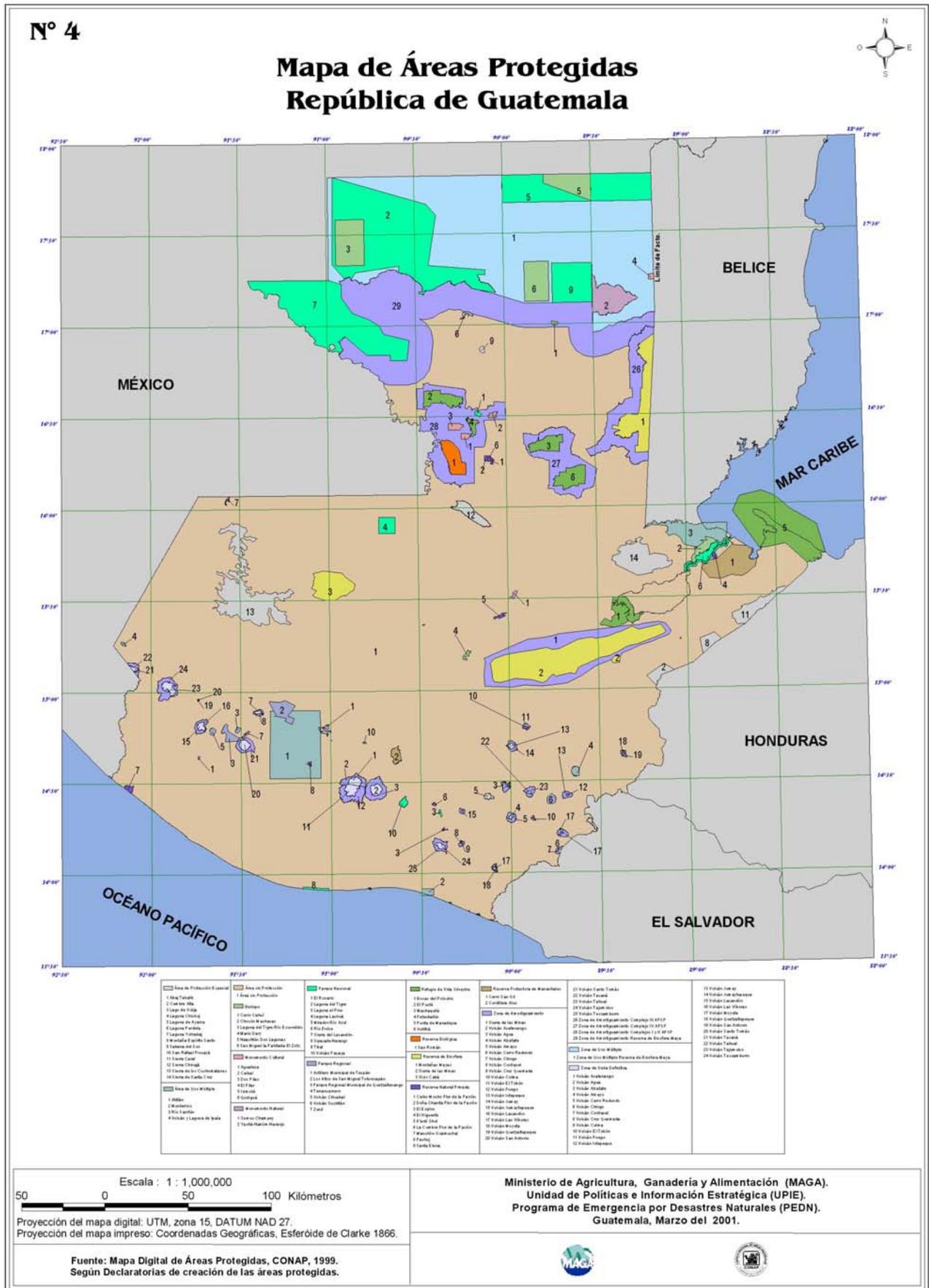
Aufgrund der von Guatemala 1995 unterschriebenen Ratifizierung der Biodiversitätskonvention verpflichtet sich das Land gemäß Art. 8a zur *In-situ*-Erhaltung der biologischen Vielfalt. Somit wurden bis heute über 100 Schutzgebiete in Guatemala eingerichtet, die derzeit eine Fläche von 27,6% einnehmen (Tabelle 8). Dieses entspricht über 3 Mio. ha (ENB 1999a). Unter tatsächlich praktisch umgesetztem Schutz steht jedoch eine sehr viel kleinere Fläche, FRIEDRICH (2002) schätzt diese auf 1 Mio. ha.

Kategorie (spanisch/deutsch)		Fläche (ha)	Anzahl	Anteil an SIGAP (%)	Anteil an Landesfläche (%)	
I	Parque Nacional	Nationalpark	690.676	22	22,92	6,34
	Reserva Biológica	Biol. Reservat	60.878	1	2,02	0,55
II	Biotopo Protegido	Geschütztes Biotop	118.663	6	3,94	1,08
	Monumento Cultural	Kulturmonument	6.365	4	0,21	0,06
	Monumento Nacional	Nationalmonument	34	1	0,00	0,00
III	Refugio De Vida Silvestre	Waldrefugium	243.605	6	8,08	2,23
	Área De Usos Múltiples	Flächen vielfältiger Nutzung	67.312	3	2,23	0,61
	Reserva Protectora de Manantiales	Quellenschutzgebiet	52.805	2	1,75	0,48
	Zonas De Veda Definitiva	Definitive Verbotszone	5.061	37	0,16	0,04
IV	Parque Regional	Regionalpark	26.743	4	0,88	0,24
V	Reserva Natural Privada	Priv. Schutzgebiet	4.844	11	0,16	0,04
VI	Reserva De Biósfera	Biosphärenreservat	1.735.753	4	57,61	15,94
	Gesamt		3.012.739	101	100,00	27,67

Tabelle 8: Schutzgebiete in Guatemala nach Schutz-Kategorien (Quelle: verändert nach ENB 1999a)

Aktuelle Zahlen aus dem Jahre 2003 (<http://www.biodiv.org/doc/world/gt/gt-nr-pa-es.pdf>) geben für Guatemala bereits 127 Schutzgebiete an. Dieses kommt vor allem durch die erhöhte Anzahl von nunmehr 51 privaten Schutzgebieten zu Stande, worin ein sehr großes Potenzial für den zukünftigen Naturschutz liegt.

In der Untersuchungsregion des Departamentos Alta Verapaz sind vor allem drei verschiedene Schutzstrategien vertreten: Privater Naturschutz (z.B. Reserva Privada Chelemhá, vgl. Kap. 2.4.1), staatlicher Naturschutz in Form von Nationalparks (z.B. Laguna Lachuá) und Schutzgebietsmanagement, das von einer staatlich beauftragten NGO ausgeführt wird (z.B. das Biosphärenreservat ‚Sierra de las Minas‘, gemanagt von der NGO ‚Defensores de la Naturaleza‘). Die Akzeptanzprobleme und Lösungsansätze dieser drei verschiedenen Strategien in Guatemala untersuchte FRIEDRICH (2002). Die Karte 11 liefert einen Überblick über die Verteilung der Schutzgebiete innerhalb Guatemalas sowie ihre Einordnung in die jeweiligen Schutzgebietskategorien.



Karte 11: Karte der Schutzgebiete in Guatemala (Quelle: MAGA 2001)

Das **PINFOR-Programm** steht für „*Programa de Incentivos Forestales*“, bedeutet sinngemäß „*Programm für forstliche Anreize*“ und liefert seit einigen Jahren einen Beitrag zum Naturschutz in Guatemala. Es wird verwaltet vom Instituto Nacional de Bosques (INAB). Dabei gibt es drei verschiedene Unterprogramme:

1. Aufforstung
2. Bewirtschaftung natürlicher Wälder
3. Schutz von Waldflächen

Der Anreiz für die Aufforstung von Flächen ist auf sechs Jahre angelegt, dabei gibt es eine Anschubfinanzierung zu Beginn der Aufforstung und dann jedes Jahr jeweils nach Qualitätskontrollen weitere Zahlungen (Tabelle 9). Insgesamt ergibt sich nach fünf Jahren eine Fördersumme von 12.400 Quetzales pro Hektar.

Jahr	0	1	2	3	4	5	Total
Zahlung (Q/ha)	5.000	2.100	1.800	1.400	1.300	800	12.400

Tabelle 9: Höhe der Zahlungen im Rahmen des Aufforstungsprojektes

Für die Bewirtschaftung natürlicher Wälder mit nachhaltiger Holzproduktion werden über einen Zeitraum von fünf Jahren Zahlungen gewährleistet (Tabelle 10).

Fläche (ha)	Zahlung (Q)		
von 2 bis 15	346		pro ha
von 15 bis 45	5.190	+ 143	pro ha zusätzlich bis 45 ha
von 45 bis 90	9.480	+ 63	pro ha zusätzlich bis 90 ha
von 90 bis 450	12.315	+ 51	pro ha zusätzlich bis 450 ha
mehr als 450	30.675	+ 51	pro ha zusätzlich

Tabelle 10: Höhe der Zahlungen im Rahmen der Bewirtschaftung natürlicher Wälder

Das dritte Unterprogramm bezieht sich auf den ausschließlichen Schutz von Waldflächen, hierfür werden ebenfalls Zahlungen über fünf Jahre gewährt (Tabelle 11), die jedoch deutlich unter den zuvor genannten Zahlungen zur Bewirtschaftung natürlicher Wälder liegen.

Fläche (ha)	Zahlung (Q)	
von 2 bis 15	134	pro ha
von 15 bis 45	2.010	für die ersten 15 ha + 81Q./ha zusätzlich bis 45 ha
von 45 bis 90	4.440	für die ersten 45 ha + 66Q./ha zusätzlich bis 90 ha
von 90 bis 450	7.410	für die ersten 90 ha + 55Q./ha zusätzlich bis 450 ha
mehr als 450	27.210	für die ersten 450 ha + 55Q./ha zusätzlich

Tabelle 11: Höhe der Zahlungen im Rahmen des Schutzes natürlicher Wälder

Die Dauer des PINFOR-Programms ist zunächst auf zwanzig Jahre ausgelegt, für den Zeitraum von 1997-2017. Die Ziele des Programms sind folgende:

1. Schutz und Verbesserung der nachhaltigen Forstwirtschaft,
2. Einbindung der forstlich geeigneten Flächen, die bislang frei von Wäldern sind, in die forstliche Nutzung, durch Einführung und Bewirtschaftung forstlicher Pflanzungen,
3. Schaffung von produktiven Wäldern für die Entwicklung der Forstindustrie,
4. Anreiz für Schutz und Schaffung von Wäldern im Hinblick auf die Umweltdienste.

Die Akzeptanz des PINFOR-Programms scheint recht hoch zu sein. Als Ziel wurden für die Bewirtschaftung natürlicher Wälder 650.000 ha festgesetzt, für die Aufforstungen sowie für den Schutz von Waldflächen jeweils 285.000 ha. Das Beispiel der Reserva Privada Chelemhá zeigt, dass das Programm gut in die Praxis umsetzbar ist. Bis September 2002 waren laut INAB (2002) 27.512,45 ha aufgeforstet sowie 26.503 ha für die Bewirtschaftung natürlicher Wälder zertifiziert. Ein klarer Nachteil ist jedoch darin zu sehen, dass die aktuellen Besitzverhältnisse in Guatemala dazu führen, dass überwiegend Großgrundbesitzer an dem Programm teilnehmen. Es stellt somit einen weiteren Beitrag zu dem bereits vorhandenen extremen sozialen Ungleichgewicht in Guatemala dar. Die in Subsistenzwirtschaft lebenden Kleinbauern haben keine Möglichkeit an dem Programm teilzunehmen, da entweder der Landtitel fehlt oder aber die Flächen zu klein sind und ausschließlich für die landwirtschaftliche Nutzung gebraucht werden.

UPROBON hat eine Fläche von 14,9 ha mit dem PINFOR-Programm Kiefern aufgeforstet. Es besteht gleichzeitig das Angebot an alle umliegenden Communitäten, die Flächen für zwei Jahre mit Mais anzubauen. Dieses Angebot wird jedoch nur von neun Bauern auf insgesamt 1,5 ha angenommen. Für die Aufforstung würde eine verstärkte Umsetzung einen großen Vorteil darstellen: die Flächen würden regelmäßig von Unkraut befreit und folglich forstlich gepflegt werden, während die Bauern zusätzliches Land zur Verfügung haben, das sie bebauen können. Ihre eigenen Flächen können währenddessen brach liegen und regenerieren. Daher ist nicht zu verstehen, warum die Akzeptanz so gering ist. Für das zweite Jahr werden sie sogar mit einem Sack Dünger belohnt, wenn sie ein zweites Mal Mais anbauen. Gründe für die nicht vorhandene Akzeptanz können folgende sein: 1. Der Flächenbedarf ist nur gering, 2. die Bauern sind zu stolz, auf anderen Flächen Mais anzubauen, oder 3. sie sind nicht bereit, den geforderten Mehraufwand zu investieren (es darf nicht gebrannt werden, somit fällt viel Unkraut an, das beseitigt werden muss). Der Ansatz, auf den Aufforstungsflächen in den ersten Jahren Mais anzubauen, stellt einen guten Beitrag dar, den Schutz von Ökosystemen bei gleichzeitiger extensiver landwirtschaftlicher Nutzung zu gewährleisten.

5. MATERIAL UND METHODIK DER UNTERSUCHUNG

„However, the causal relationships between (1) composition, diversity and abundance of soil organisms and (2) sustained soil fertility are unclear.“

(aus: GILLER et al. 1997, S. 3)

Grundlagen dieser Studie liefern Daten, die während zweier Feldphasen vor Ort in Guatemala erhoben wurden. Die erste Feldphase umfasste den Zeitraum vom 24. April bis zum 1. Oktober 2001, die zweite Feldphase folgte ein Jahr später vom 10. März bis zum 11. Juni 2002. Die Aufenthalte dienten der Auswahl der Untersuchungsgebiete sowie der genauen Beprobungsstandorte, der Erhebung der Daten, Sammlung des notwendigen Materials sowie Gewinnung des Probenmaterials. Die Einrichtung der klimatologischen Datalogger erfolgte im zweiten Jahr. Ein dritter Aufenthalt vom 10. bis zum 25. August 2003 diente der Rückführung der Daten an die beteiligten Institutionen.

5.1 Auswahl der Untersuchungsflächen und Lage der Standorte

Um die pedoökologischen Folgen der traditionellen Landnutzung zu untersuchen, war es notwendig, nahe beieinanderliegende Flächen auszuwählen. Somit fiel die Wahl der Untersuchungsflächen auf die Gemeinden des „Proyecto Eco Quetzal“, einer in Alta Verapaz ansässigen NGO, die sich für den Schutz der Bergnebelwälder einsetzt. Um einen Überblick über die pedologischen Verhältnisse zu gewinnen, wurden Beprobungsstandorte in Chicacnab (15°22,910' N, 90°11,177' W, 2195m), Xucaneb (15°21,663' N, 90°19,271' W, 1523m) und Chelemhá (15°23,209' N, 90°03,671' W, 1980m) bestimmt. Insgesamt wurden 116 Bodenproben für laboranalytische Zwecke entnommen, sowie 16 Leitprofile im Gelände angesprochen. Da langjährige Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich sind, wurde das Prinzip der „falschen Zeitreihe“ (*false-time-series*) angewandt (SAIKH et al. 1998, MARKUSSEN 2002). Es wurden Flächen mit unterschiedlicher Nutzungsdauer sowie Bergnebelwald-Standorte als Referenzflächen gewählt. Die jeweiligen Beprobungsstandorte wurden mit einem GPS lokalisiert und anschließend fotografisch dokumentiert. Ebenso wurde für die Aufnahmen hinsichtlich des *ground-checks* für die anschließende Satellitenbilddauswertung im Hinblick auf die Waldverteilung verfahren. Diese und ihre raumzeitlichen Veränderungen werden mit Hilfe von zwei Satellitenbildern (LANDSAT-TM 5 und -ETM 7) vom 14.04.1986 sowie 23.01.2000 analysiert. Zusätzlich wurden Luftbilder vom 23.01.1964, 14.02.1991 und 20.01.2000 herangezogen.

Die Tabellen 12 und 13 zeigen die beiden untersuchten falschen Zeitreihen, mit ihren jeweiligen Bodenmischproben (Datentabellen siehe Anhang). Die erste Zeitreihe in Chelemhá (Tabelle 12) besteht aus den Waldsystemen Primärwald, Sekundärwald und Aufforstung. Zudem wurden drei Flächen ausgewählt, die seit über 100 Jahre bewirtschaftet werden, um damit Auswirkungen von durch Nichtsregierungsorganisationen implementierten

Bodenschutzmaßnahmen zu quantifizieren. Eine Fläche davon wird traditionell mit Abbrennen der Ernterückstände vor Wiedereinsaat bewirtschaftet, eine weitere seit 10 Jahren ohne Brand und eine seit ca. 10 Jahren mit Bodenschutzmaßnahmen wie Heckenanpflanzung und Mulchen ebenfalls ohne Brand.

Chelemhá	0-30 cm	30-60 cm
Primärwald	5872	5873
Sekundärwald 7 Jahre	5876	5877
Aufforstung	5870	5871
milpa 100 Jahre mit Brand (traditionell)	5898	5899
milpa 100 Jahre, derzeit ohne Brand	5900	5901
milpa 100 Jahre, mit Bodenschutzmaßnahmen	5866	5867

Tabelle 12: Flächen der falschen Zeitreihen in Chelemhá und die Codierung der jeweiligen Bodenmischproben (Datentabellen siehe Anhang)

Chicacnab	0-30 cm	30-60 cm
Primärwald	5852	5853
milpa 15 Jahre	5856	5857
milpa 25 Jahre	5862	5863
milpa 60 Jahre	5860	5861
Sekundärbusch (<i>guamil</i>)	5854	5855
Brache (<i>descanso</i>)	5858	5859

Tabelle 13: Flächen der falschen Zeitreihen in Chicacnab und die Codierung der jeweiligen Bodenmischproben (Datentabellen siehe Anhang)

Die zweite falsche Zeitreihe liegt in der Gemeinde Chicacnab (Tabelle 13), ca. 13 km von Chelemhá entfernt. Diese zweite Zeitreihe besteht aus einem Primärwald als Referenzfläche sowie drei *milpa*-Flächen, die seit 15, 25 und 60 Jahren bewirtschaftet werden. Ergänzt werden diese durch eine Brachefläche sowie eine Sekundärbuschfläche, die die natürliche Sukzessionsentwicklung widerspiegelt. Auf allen landwirtschaftlichen Nutzflächen wurden in den Vorjahren keine Düngerapplikationen angewendet, so dass keine Verfälschung des Nährstoffhaushaltes aufgrund von externen Zugaben vorliegen.

Aufgrund der regionalen Inhomogenitäten der Bodeneigenschaften sind diese beiden Zeitreihen nicht direkt miteinander vergleichbar. Innerhalb der Zeitreihen jedoch ist ein Vergleich gewährleistet, da die Flächen nahe beieinander liegen und die gleichen geologischen Ausgangsbedingungen aufweisen.

5.2 Datenerhebung und Bodenaufnahme

In der ersten Feldphase wurde die Bodenprobennahme durchgeführt, die ersten *ground-checks* zur Bestimmung der Waldflächenverteilung vorgenommen und relevante Daten und Materialien zusammengetragen (Beschaffung von Satelliten- und Luftbildern, Kartenmaterial, Literatur, etc.). Ferner konnten Kontakte vor Ort in Guatemala geknüpft werden, die auch in Zukunft eine sehr gute Zusammenarbeit erwarten lassen. An dieser Stelle seien nur einige wenige Institutionen genannt: Universidad del Valle de Guatemala, Universidad San Carlos,

Instituto Geográfica Nacional, Banco Interamericano de Desarrollo, CARE, GTZ, Tulane University New Orleans, Oficina de Estrategia de Biodiversidad, Fachhochschule Eberswalde (Prof. Dr. Ulrich Schulz), Universität München (Dr. Harald Förther) u.v.a.m. Die Zusammenarbeit mit anderen, vor allem ausländischen Wissenschaftlern, war und ist durchwegs intensiv und fruchtbar.

In der zweiten Feldphase wurden schwerpunktmäßig Untersuchungen zur bodenbiologischen Aktivität durchgeführt. Ferner erfolgten ergänzende bodenkundliche Untersuchungen sowie eine Intensivierung der *ground-checks* zur Ermittlung der Waldverteilung. Zudem wurden Klimamessgeräte zur Erfassung der klimatischen Rahmenparameter im Untersuchungsgebiet installiert (Lufttemperatur, Luftfeuchte, Bodentemperatur, Niederschlag). Diese Messungen sind mittels Datalogger auf langfristige Messreihen ausgerichtet.

5.3 Methodik der Laboranalytik

Nach der Datenerhebung und Bodenaufnahme im Gelände konnte das gestörte Bodenmaterial im Labor der CUNOR-Universität in Cobán (Alta Verapaz, Guatemala) aufbereitet werden. Trocknung, Homogenisierung, Bestimmung des Skelettgehaltes sowie des Wassergehaltes und der Lagerungsdichte erfolgten ebenfalls vor Ort. Die bodenchemische und bodenphysikalische Bestimmung einzelner Parameter erfolgte im geökologischen Labor des Geographischen Institutes der Georg-August-Universität in Göttingen: C_t , $C_{org.}$, N_t , pH, elektrische Leitfähigkeit, P, effektive Austauschkapazität ($KAK_{eff.}$), Al, Cu, Mg, Mn, Zn und Fe über AAS sowie Korngrößenverteilung nach Köhn.

Im Folgenden sind die Analyseverfahren der einzelnen Parameter dargestellt.

5.3.1 Methodik der bodenphysikalischen Parameter

Lagerungsdichte (d_B in g/cm^3)

Die Lagerungsdichte wurde gravimetrisch nach HARTGE & HORN (1989) mit Hilfe von Stechzylindern (100 cm^3) bestimmt. Die ungestörten Bodenproben wurden bei 105°C im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet, gewogen und die Lagerungsdichte errechnet.

Korngrößenverteilung nach KÖHN

Die Bestimmung der einzelnen Korngrößenfraktionen des lufttrockenen Feinbodens (Einwaage 20g) erfolgte mittels der kombinierten Sieb- und Pipettanalyse nach KÖHN. Partikel von $63 - 2000\ \mu\text{m}$ wurden durch Nasssiebung voneinander getrennt, die Partikel $<63\ \mu\text{m}$ mit Hilfe der Pipettanalyse. Zur Zerstörung der organischen Substanz diente Wasserstoffperoxyd. Zur Zerstörung weiterer Aggregate bzw. zur Herabsetzung der Bindungsfähigkeit wurde $0,4\ \text{N Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ als Dispergierungsmittel verwendet (HARTGE & HORN 1989).

Porengrößenverteilung nach RENGER (1971)

Die Ermittlung der Porengrößenverteilung erfolgte rechnerisch nach RENGER (1971) aus der Körnung, dem Gehalt an organischer Substanz und der Lagerungsdichte. Die bodenkundliche Kartieranleitung (AG BODEN 1994) lieferte die Berechnungsgrundlage für die nutzbare Feldkapazität (nFK) und die Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes (nFKWe) unter Berücksichtigung der Horizontmächtigkeit sowie der maximalen Durchwurzelungstiefe, der Bodenart und des Gehaltes an organischer Substanz.

Nach RENGER (1971) lässt sich mit permanentem Welkepunkt (PWP), nutzbarer Feldkapazität (nFK), Feldkapazität (FK) und Luftkapazität (LK) das hydrostatische Potenzial bestimmen. Zudem ergibt sich die Porengrößenverteilung mit Gesamtporenvolumen (GPV), Feinporen (FP), Mittelporen (MP), engen (eGP) und weiten (wGP) Grobporen und Substanzvolumen (SV). Dabei liegen die in Tabelle 14 dargelegten Porengrößenbereiche zugrunde (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998 und AG BODEN 1994).

Porenklasse	Porendurchmesser (μm)	Wassersäule (cm)	pF	Unterteilung des Bodenwassers	Unterteilung der Speicherkapazität
weite Grobporen	> 50	1-60	0-1,8	schnell bewegliches Sickerwasser	LK
enge Grobporen	50-10	60-300	1,8-2,5	langsam bewegliches Sickerwasser	nFK
Mittelporen	10-0,2	300-15000	2,5-4,2	pflanzenverfügbares Haftwasser	
Feinporen	< 0,2	> 15000	> 4,2	nicht pflanzenverfügbares Haftwasser	Totwasser

Tabelle 14: Einteilung der Porengrößenbereiche nach dem Porendurchmesser und der Wasserspannung (cm Wassersäule bzw. pF-Wert)

5.3.2 Methodik der bodenchemischen Parameter

pH-Wert

Der pH-Wert wurde elektrometrisch bestimmt mittels „WTW inoLab Terminal Level 3 pH/Cond“. Es wurde die pH-Elektrode SenTix (pH 0-14) verwendet. 10 g lufttrockener Feinboden wurden jeweils im Verhältnis 1:2,5 mit 50 ml destilliertem H₂O bzw. 1 N KCl bzw. 0,01 M CaCl₂ versetzt, eine Stunde maschinell geschüttelt und anschließend gemessen. Zur Eichung wurden Mettler-Toledo-Standards verwendet.

Elektrische Leitfähigkeit (EC in $\mu\text{S}/\text{cm}$)

Die elektrische Leitfähigkeit wurde ebenfalls mit dem „WTW inoLab Terminal Level 3 pH/Cond“ mit Temperaturkompensation auf 25°C in einer Boden/Wasser-Suspension im Verhältnis 1:5 gemessen [Elektrode TetraCon 325]. Dabei wurden 10 g lufttrockener Boden mit 50 ml destilliertem Wasser eine halbe Stunde maschinell geschüttelt und gemessen. Zellkonstante sowie Temperaturfaktor gehen automatisch in die Berechnung mit ein, so dass der Messwert automatisch korrigiert und für 25°C angegeben wird [vgl. KRETZSCHMAR (1996)].

Phosphatbestimmung nach BRAY

Neben dem Gesamtgehalt an Phosphor wurde in dieser Untersuchung ebenfalls das lösliche, sogenannte pflanzenverfügbare Phosphor bestimmt. Diesbezüglich kommen unterschiedliche Methoden in Frage: Bray 1, Bray 2, Egner, Mehlich 1, Mehlich 2, Olsen, Saunder oder auch Troug. Ein Vergleich dieser Methoden erfolgte von BEKELE & HÖFNER (1990). Im Rahmen dieser Untersuchung fiel die Entscheidung auf Bray 1 (BRAY & KURTZ 1945), da sich diese Methode vor allem für saure Böden als sehr erfolgreich gezeigt hat. Außerdem ergibt sich aus dieser Methodenwahl eine gute Vergleichbarkeit mit amerikanischen Studien, sowie Untersuchungen im lateinamerikanischen Raum.

Der Aufschluss erfolgte durch 0,03 N NH_4F in 0,025 N HCl. Rezeptur nach SSSA 1982, S. 416 ff. Die Bestimmung erfolgte photometrisch.

Bestimmung der effektiven Austauschkapazität (KAK_{eff})

Die im Boden gebundenen, austauschbaren Kationen wurden im Extraktionsverfahren mit 1 M NH_4Cl -Lösung bei 2,5 g lufttrockener Feinbodeneinwaage ausgetauscht. Alle Parameter wurden mit Hilfe des ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometer) Perkin Elmer Instruments Optima 4300 DV bestimmt. Die Anzahl der H^+ -Ionen wurden über den pH-Wert in der Austauscherlösung berechnet. Die Summe der ausgetauschten Kationen ($\text{Al}+\text{Ca}+\text{Fe}+\text{H}+\text{K}+\text{Mg}+\text{Mn}+\text{Na}$) beschreibt die effektive Kationenaustauschkapazität in cmol_c/kg Boden (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Die Kationensättigung an den Austauschern wurde prozentual berechnet. Die Gehalte an austauschbarem Cu, Zn und Si wurden aufgrund ihres geringen Anteils an der KAK_{eff} in der vorliegenden Untersuchung nicht bestimmt.

Die Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität erfolgte statt mit dem gängigen Perkolationsverfahren mit dem vereinfachten Verfahren der Extraktion. LÜER & BÖHMER (2000) kamen zu dem Ergebnis, dass sich mit dieser Methode eine sehr gute Übereinstimmung der Reproduzierbarkeit erzielen lässt.

Gesamtkohlenstoff (C_t) und Gesamtstickstoff (N_t)

Nach der Homogenisierung des Feinbodens mittels der Planetenkugelmühle (Achat) und anschließender Trocknung bei 105°C wurden Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff mit Hilfe des CHN-Analysators 1000 der Firma LECO bestimmt. Dabei wird das Bodenmaterial verglüht, und C_t und N_t im anschließend komprimierten Gasgemisch mit Hilfe von Infrarotmesszellen bestimmt. Durch Multiplikation des C_t -Gehaltes mit dem Faktor 2 wurde der Humusgehalt (organische Substanz) berechnet (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Nach LANDON (1991) wäre eine Multiplikation mit dem Faktor 1,72 angebracht, damit lägen die Werte für die organische Substanz etwas niedriger.

Gesamtaufschluss

Zur Bestimmung der Gesamtgehalte der Elemente Ca, Na, K, Mg, Fe, Al, Mn, Cu, Cr, Co, Ni, Zn, P, S, Mo, Cd, Tl und Pb wurde das bei 105°C getrocknete, in der Achatkugelmühle homogenisierte Bodenmaterial (Einwaage 200 mg) mit einem Säuregemisch aus HF und HNO₃ in der Pico-Trace-Druckaufschlussapparatur versetzt und die Elemente somit extrahiert. Der Aufschluss wird mit Teflonbechern bei 170 bis 190°C ausgeführt. Organische und mineralische Substanzen können somit vollständig aufgeschlossen werden. Alle Konzentrationen der jeweiligen Parameter wurden anschließend mit Hilfe des ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometer) Perkin Elmer Instruments Optima 4300 DV bestimmt.

5.3.3 Methodik des bodenbiologischen Parameters

Zur Bestimmung der biologischen Aktivität wurde die Methode des Zelluloseabbaus in Anlehnung an UNGER (1960) gewählt. Die zellulolytische Aktivität der Böden im Untersuchungsgebiet wurde bestimmt durch das Einsetzen von 20 g Zellulose in den Böden. Hierzu wurde die Zellulose in Gazesäckchen geschweißt, um zu gewährleisten, dass nur Mikroorganismen < 42,5 µm Zugang haben. Die Zellulose-Beutel wurden an vier Standorten in 10 cm Tiefe ungestört in den Boden waagrecht eingesetzt: Primärwald, Sekundärwald, *milpa*-System mit Bodenschutzmaßnahmen und *milpa*-System ohne Bodenschutzmaßnahmen. Da eine hohe Varianz zu erwarten war, wurden fünf Parallelproben eingesetzt. Insgesamt wurden drei Zeiträume erfasst: 16. März bis 13. April 2002 (4 Wochen), 13. April bis 11. Mai 2002 (4 Wochen) und 16. März bis 11. Mai 2002 (8 Wochen). Die Restzellulose wurde über die Veraschung bei 750°C ermittelt und der Abbau in mg/d berechnet. Die Daten der Abbauraten wurden korreliert mit Bodentemperatur, Bodenfeuchte sowie verschiedenen pedochemischen Parametern (siehe Kapitel 6.1.3).

Die Filterpapierzellulose wurde unter Laborbedingungen in 15 mal 5 cm große Streifen geschnitten, anschließend bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anschließend wurden 20 g der Filterpapierzellulose abgewogen und in Gazebeutel verschweißt. Damit wird zum einen der Zugang von Meso- und Makrofauna und -flora verhindert und zum anderen

das Verschleppen des eingegrabenen Materials durch Bodentiere gehemmt. Nach dem jeweiligen Untersuchungszeitraum wurden die Beutel ausgegraben und im Labor wiederum bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und das Filterpapier dann gewogen. Eine Verunreinigung des Zellulosepapiers durch den Boden war nur sehr gering, dennoch wurde die Zellulose bei 500°C verascht, um eine Fehlerkorrektur vornehmen zu können. Die Differenz von der 20g Einwaage und dem Restwattegehalt stellt die Höhe des Zelluloseabbaus dar.

Die Zuordnung der Körperdurchmesser von Bodenorganismen im Vergleich zu Poren- und Partikeldurchmesser wird in Abbildung 5 deutlich. Vor allem Bakterien, Pilze, Algen, Wurzelhaare, Protozoen und Nematoden werden bei dieser Methodik zur Bestimmung des bodenbiologischen Parameters erfasst.

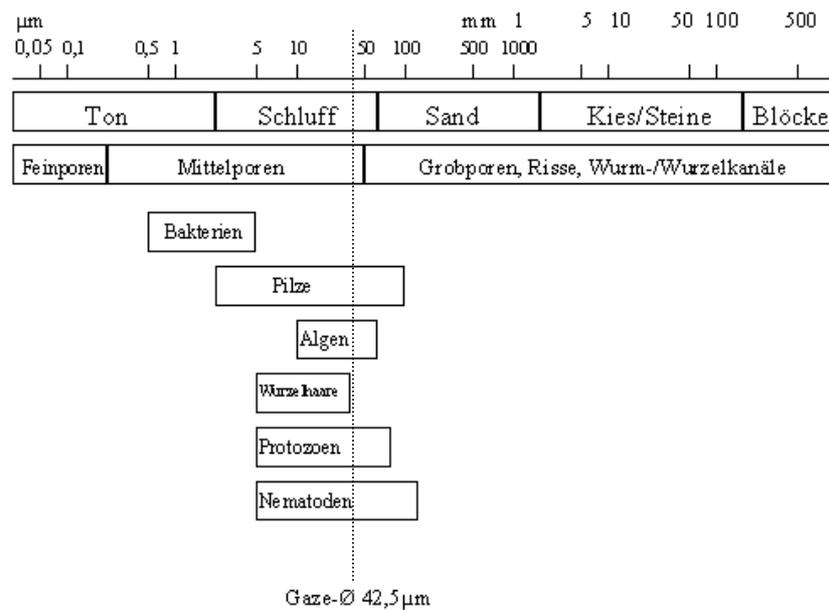


Abbildung 5: Körperdurchmesser von Bodenorganismen im Vergleich zu Poren- und Partikeldurchmesser (verändert nach GIS1 et al. 1997).

5.3.4 Altersbestimmung: ^{14}C -Datierung

Die Altersbestimmung von Holzresten eines fossilen Horizonts erfolgte mit Hilfe der Radiokohlenstoff-Methode (^{14}C -Methode) nach ANDERSON et al. (1947). Detaillierte Ausführungen zur Bestimmung finden sich bei GEYH (1980), GEYH (1983) sowie GEYH & SCHLEICHER (1990). Zur Korrektur des ^{14}C -Alters wird der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert herangezogen (GEYH 1983).

Nach dem Absterben einer Pflanze, also von dem Zeitpunkt an, zu dem die Zufuhr frischen Kohlenstoffs aufhört, verringert sich der ^{14}C -Gehalt entsprechend dem radioaktiven Zerfall (WILLKOMM 1990). ^{14}C zerfällt mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren. Das Prinzip der Radiokohlenstoffbestimmung und der Weg des Radiokohlenstoffs in den Boden wird anhand der Abbildung 6 deutlich.

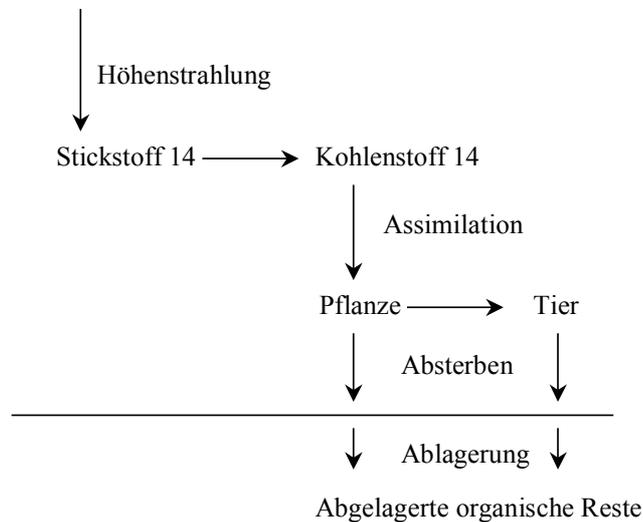


Abbildung 6: Der Weg des Radiokohlenstoffs in den Boden (verändert nach FRANKE 1969)

5.4 Methodik der mikroklimatischen Messungen

Das Makro- sowie vor allem das Mikroklima stellen für die Landnutzung in Alta Verapaz einen ausschlaggebenden Faktor dar. Daher wurden drei Klimastationen eingerichtet, um grundlegende Daten hinsichtlich des Klimas zu erhalten sowie Unterschiede der Landnutzungen im Hinblick auf das Bestandsmikroklima deutlich zu machen (Primärwald, Sekundärwald, *milpa*-System). Die drei Habitate liegen nahe beieinander in der Reserva Privada Chelelhá. Eine Höhendifferenz bei der Installation der Hobos war aufgrund der Landschaftsstruktur unumgänglich, da Primärwaldflächen fast ausschließlich in den Kuppenbereichen vorhanden sind. Die *milpa* liegt auf 2.100 m Höhe, Sekundärwald auf 2.250 m und Primärwald auf ca. 2.500 m üNN. Gemessene Parameter sind Niederschlag, Lufttemperatur in 0,5 m sowie 2 m Höhe, Luftfeuchte in 0,5 m sowie 2 m Höhe, Bodentemperatur in 0,1 m Tiefe sowie der für Flora und Fauna dieser Region ebenfalls sehr

wichtige Taupunkt (HOBO Pro Temp/External Temp, HOBO Pro RH/Temp, HOBO Event Logger, BoxCarPro 4.0 Software). Die Datalogger messen und speichern alle 10 Minuten diese Parameter, so dass eine hohe zeitliche Auflösung gegeben ist.

5.5 Statistische Auswertung und Software

Die statistische Auswertung erfolgte über die gängigen statistischen Verfahren (BAHRENBURG et al. 1990). Als Software wurden für diese Arbeit folgende Programme herangezogen: ENVI 3.2, Office (Excel, Word, PowerPoint, Access), Sigma-Plot 5.0, HarvardGraphics 98, Surfer 8.0, ArcViewGis 3.2, Win-Stat, PhotoShop 6.0, Literat 1.05, Bibliographix 3, BoxCarPro 4.0, CoralDraw 9.0, FreeHand.

5.6 Luftbild- und Satellitenbildauswertung

Die Ermittlung der Waldflächenverteilung erfolgt durch Auswertung zweier Landsat-TM und -ETM-Szenen vom 14.04.1986 und 23.01.2000 mit Hilfe der Software ENVI 3.2 mittels geeigneter Klassifizierungsfunktionen.

Luftbilder aus drei verschiedenen Jahren konnten herangezogen werden:

- | | |
|------------|--|
| 23.01.1964 | VV HURD-M-6 AMS 1-23-64 AID 2, Bilder 1017-1023, 7 Luftbilder |
| 14.02.1991 | DMA/SNA R-8 L-19-1, 1618-1621, 4 Bilder, Maßstab 1:60.000, decken 14km ² ab |
| 20.01.2000 | SNA NIMA/GUATEMALA 1:40.000, c=152.671, Rollo 2 - Linea 1, Bilder 0180-0185, 6 Luftbilder, Maßstab 1:40.000, decken 10 km ² ab, Side Lap 30%, Lap. 60%, Run Spacing 6.440m, Base Length 3.680m) |
| 12.02.2000 | SNA NIMA/GUATEMALA 1:40.000, c=152.671, Bilder 0918-0923, 6 Luftbilder |

6. ERGEBNISSE UND IHRE BEWERTUNG

„Die nach wie vor bedeutendste Ressource des Landes [Guatemala] sind die fruchtbaren Böden...“

(aus: KURTENBACH 1998, S. 22)

In dem folgenden Kapitel werden die einzelnen Ergebnisse dieses Forschungsprojektes dargestellt und bewertet. Eine weiterführende Diskussion mitsamt eines Vergleichs mit anderen Forschungsergebnissen sowie einer Einbettung in den Gesamtkontext der Arbeit erfolgt in Kapitel sieben.

Die Abbildung 7 veranschaulicht das Wirkungsprinzip, wie sowohl die Waldkonversion selbst als auch die damit verbundenen Veränderungen des Mikroklimas und die auftretende Bodendegradation die Biodiversität beeinflussen. Diese Veränderungen in Bezug auf Abholzung, Bodendegradation und Mikroklima werden im Folgenden quantifiziert. Die Waldkonversion führt zu Habitatfragmentierung, Habitatverlust und einem gestörten Wasserkreislauf, was wiederum direkte Auswirkungen auf Flora und Fauna hat. Die durch die Abholzung ausgelöste Bodendegradation führt ebenfalls über die Veränderung der Bodenfunktionen wie Lebensraumfunktion, Nutzungsfunktion, Regelungsfunktion indirekt zu Auswirkungen auf die Biodiversität. Außerdem geht mit der Bodendegradation eine abnehmende Flächenproduktivität einher, welche wiederum einen erhöhten Flächenbedarf nach sich zieht und zu einer Ausweitung der landwirtschaftlichen Flächen führt.

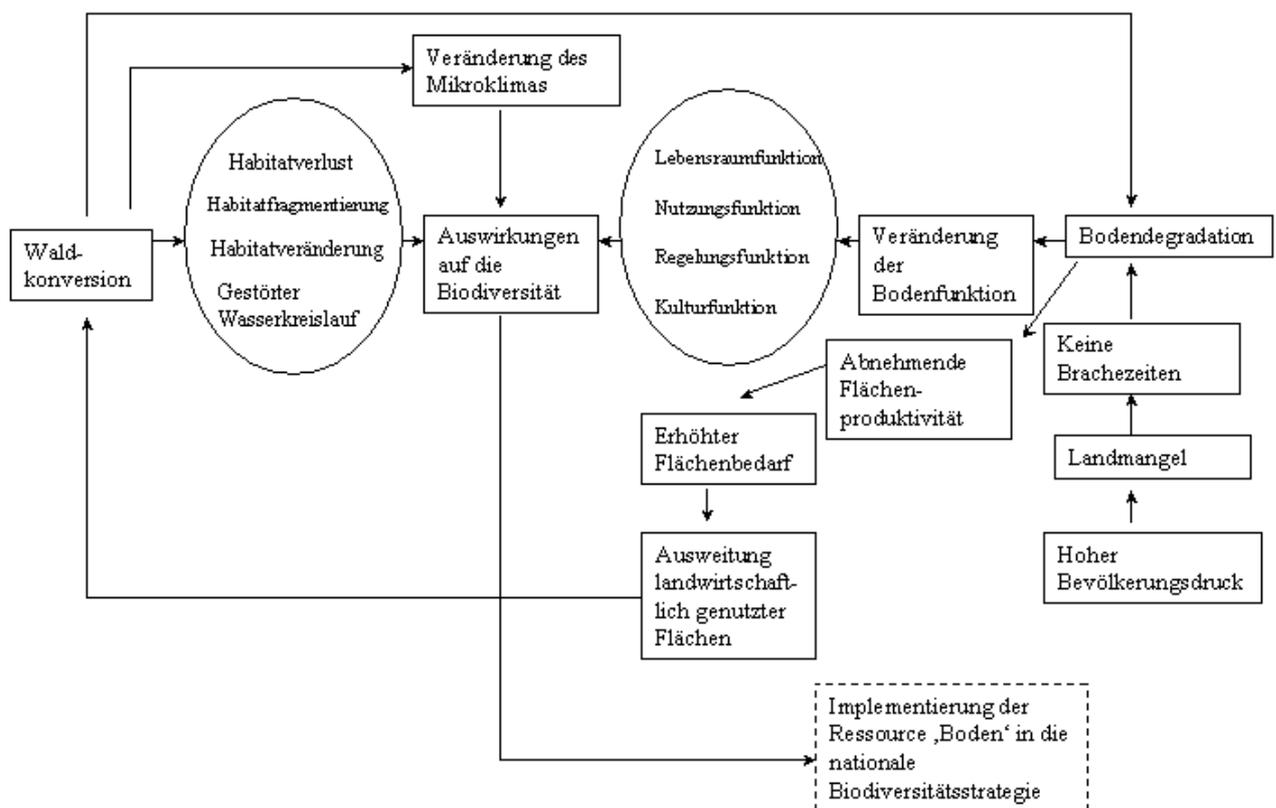


Abbildung 7: Interdependenzen zwischen Waldkonversion, Bodendegradation und Veränderung des Mikroklimas

6.1 Pedologische Ergebnisse

Im Kapitel 6.1.1 werden die pedologischen Ergebnisse mitsamt der bodenphysikalischen, bodenchemischen als auch bodenbiologischen Resultate dargestellt. Danach folgen die Ergebnisse zur untersuchten Waldkonversion sowie die aus den Landschaftsveränderungen resultierenden mikroklimatischen Ergebnisse.

6.1.1 Bodenphysikalische Parameter

Im Hinblick auf die Fragestellung der vorliegenden Arbeit werden die bodenphysikalischen Parameter untersucht. Zum einen um damit die vorkommenden Bodentypen zu charakterisieren, zum anderen um Auswirkungen der traditionellen Bewirtschaftung auf die bodenphysikalischen Parameter festzustellen.

Charakteristisch für die Region sind die sehr tief und stark verwitterten Böden. Die beprobten Leitprofile weisen ausnahmslos eine tiefere Verwitterung als 1 m auf. Dabei ist der Skelettanteil abgesehen von einigen kleinen Ausnahmen durchgehend gering und liegt unter 5%, häufig gar unter 1% und zwar sowohl im Ober- als auch im Unterboden.

Die Korngrößenverteilung hingegen variiert in Abhängigkeit von Position und Lage im Relief. Es überwiegt meist der Tonanteil mit 35 bis 65%, gefolgt von Schluff- und Sandanteil. Es liegen überwiegend Bodenartenuntergruppen im Bereich mittel-toniger Lehm (Lt3), sandig-toniger Lehm (Lts) und schwach schluffiger Ton (Tu2) vor. Die Abbildung 8 zeigt die Korngrößenverteilung und die daraus resultierende Ableitung der Bodenarten. Die Heterogenität ist sehr hoch, wobei sich die Bodenarten vor allem im lehmigen Bereich befinden. Eine hypsometrische Veränderung der Korngrößenzusammensetzung wurde nicht belegt. Einige rein tonige Horizonte kommen vor (Tonanteil 70%), genauso wie vereinzelt rein sandige Horizonte (Sandanteil bis 90%) [Tabellen 48 und 49 im Anhang]. Der Primärwald in Chicacnab (Leitprofil 1, Tabelle 32 im Anhang) weist in allen Horizonten einen Tongehalt zwischen 41 und 47% auf. Der Sandgehalt nimmt mit der Tiefe stetig ab, von 29% im Ah-Horizont auf 14% im untersten Horizont. Eindeutige Tonverlagerungen (Lessivierung) wurden nicht nachgewiesen.

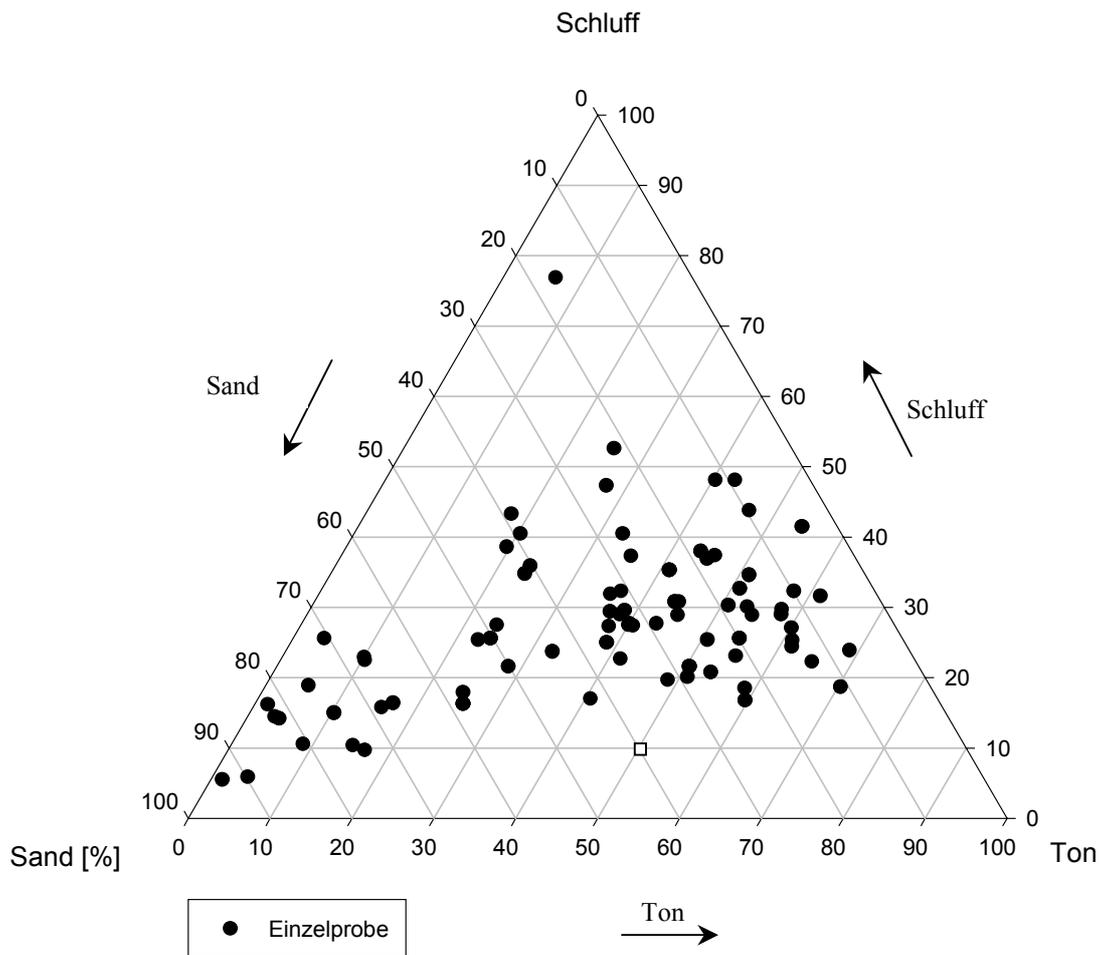


Abbildung 8: Korngrößendiagramm aller Einzelproben (Angaben in %)

[Erklärung: Die Probe □ setzt sich zusammen aus 40% Sand, 10% Schluff und 50% Ton]

Die Aggregatstabilität ist überwiegend als hoch bis mittel einzustufen (Tabellen 32 bis 46 im Anhang), entspricht 2-3 auf der Skala von 1-6 (1=sehr hohe Aggregatstabilität). Ausnahmen bilden nur alluvialesedimentäre Böden im Einzugsgebiet des Rio Mestelá, wo eine geringe Aggregatstabilität von 5 vorliegt. Oberflächenverkrustung wurde nicht beobachtet.

Das Substanzvolumen variiert sehr stark: es schwankt zwischen 25% in humusreichen Oberböden unter Wald und liegt im kompakteren Unterboden meist zwischen 40 und 50% (Tabelle 59 im Anhang). Das Gesamtporenvolumen ist insgesamt als sehr hoch zu bezeichnen. Im Ah-Horizont liegt es meist um die 60 bis 75%, im Unterboden zwischen 50 und 60%. Eine nutzungsabhängige Veränderung ist dabei nicht zu erkennen, vielmehr sind Textur, Gehalt an organischer Substanz sowie Lagerungsdichte die abhängigen Variablen für das Porenvolumen. Die Porenverteilung ist relativ einheitlich verteilt. Während die Feinporen mit 30 bis 40% am Gesamtvolumen meistens den größten Anteil einnehmen, sind die engen Grobporen prozentual am geringsten vorhanden (Tabelle 59 im Anhang). Mittlere Poren

sowie weite Grobporen tragen zu gleichen Anteilen zum Gesamtporenvolumen bei. Die Porosität der Böden in den Bergnebelwäldern Guatemalas ist als sehr hoch einzustufen.

Die Lagerungsdichte ist in der Untersuchungsregion insgesamt als sehr gering einzustufen. Die Rohdichte ρ_t (trocken) liegt fast ausnahmslos unter $1,25 \text{ g/cm}^3$. Zieht man den Tonanteil in die Berechnung für die effektive Lagerungsdichte ein, so ist die Lagerungsdichte nach wie vor überwiegend als gering bis mittel einzustufen (Tabelle 15).

Stufen	Rohdichte ρ_t [g/cm^3] ¹	Rohdichte ρ_t [g/cm^3] ²
sehr gering	< 1,25	< 0,80
gering	1,25 – 1,45	0,80 – 1,25
mittel	1,45 – 1,65	1,25 – 1,50
hoch	1,65 – 1,85	1,50 – 1,75
sehr hoch	> 1,85	> 1,75

Tabelle 15: Einstufung der Rohdichte trocken (nach ¹AG BODEN 1994 und ²SCHLICHTING et al. 1995)

Die Werte der effektiven Lagerungsdichte liegen im Untersuchungsgebiet überwiegend zwischen $0,8$ und $1,5 \text{ g/cm}^3$ (Tabelle 47 im Anhang). Eine Verdichtung durch die traditionelle Landnutzung ist dabei nicht nachweisbar. Die effektiven Lagerungsdichten nehmen mit der Tiefe in der Regel zu. Im Oberboden liegen Lagerungsdichten um 1 g/cm^3 vor, im Unterboden steigen diese auf $1,5 \text{ g/cm}^3$ an. Es gibt einige Ausnahmen, wo die Böden über das gesamte Profil die gleiche Lagerungsdichte aufweisen, so z.B. Leitprofil 9 (Kiefernauaufforstung) mit einer durchgehend sehr geringen Dichte von $0,7 \text{ g/cm}^3$. Im Primärwald in Chelemhá liegt auch im Unterboden bis 130 cm eine sehr geringe Dichte mit $0,6$ bis $0,9 \text{ g/cm}^3$ vor (Leitprofil 10).

Aus den oben genannten bodenphysikalischen Parametern und aufgrund der Feldbeobachtungen ist von einem hohen Infiltrationspotential auszugehen. Hemmend auf die Infiltration der Böden wirkt jedoch die starke Reliefenergie. Bei Starkniederschlägen kommt es aufgrund des großen Wasservolumens zu einem erhöhten Oberflächenabfluss, wodurch eine höhere Erosionsgefährdung gegeben ist. Dieses Phänomen konnte im Rahmen dieser Untersuchung nicht quantifiziert werden, wurde jedoch mehrfach bei den Feldarbeiten beobachtet.

Die Grafiken zur Poren- und Korngrößenverteilung der einzelnen Leitprofile zeigen das Verhältnis von Substanzvolumen zum Gesamtporenvolumen (Abbildung 9 sowie im Anhang Abbildungen 63 bis 77). In den meisten Fällen liegt das Porenvolumen über 50% , wobei mit zunehmender Tiefe eine Abnahme des Porenvolumens die Regel ist. Den größten Anteil am Gesamtporenvolumen nehmen meist die Feinporen ein, den geringsten – mit wenigen Ausnahmen – die engen Grobporen. Der Skelettanteil ist aufgrund der starken Verwitterung sehr gering. Die einzigen Ausnahmen mit erhöhtem Skelettgehalt bilden das Leitprofil 12 (junger Sekundärwald, Chelemhá, 11 bis 28% in allen Horizonten), sowie LP 3 (*milpa* 15 Jahre, Chicacnab, 14% im Bv2) und LP 13 (ebenfalls *milpa*, 24% im Bv3). Es wird deutlich,

dass insgesamt bei allen Böden die Durchlüftung aufgrund der Porosität ausgesprochen gut ist. Sehr charakteristisch ist das Leitprofil 2 mitsamt der fossilen Horizonte im Unterboden (Abbildung 9). Die starke Porosität im fossilen Ah-Horizont ist offensichtlich. Zur Altersbestimmung dieses spezifischen Horizonts siehe Kapitel 6.1.5.1. Weitere Abbildungen bezüglich Poren- und Korngrößenverteilungen anderer Leitprofile befinden sich im Anhang (Abbildungen 63 bis 77).

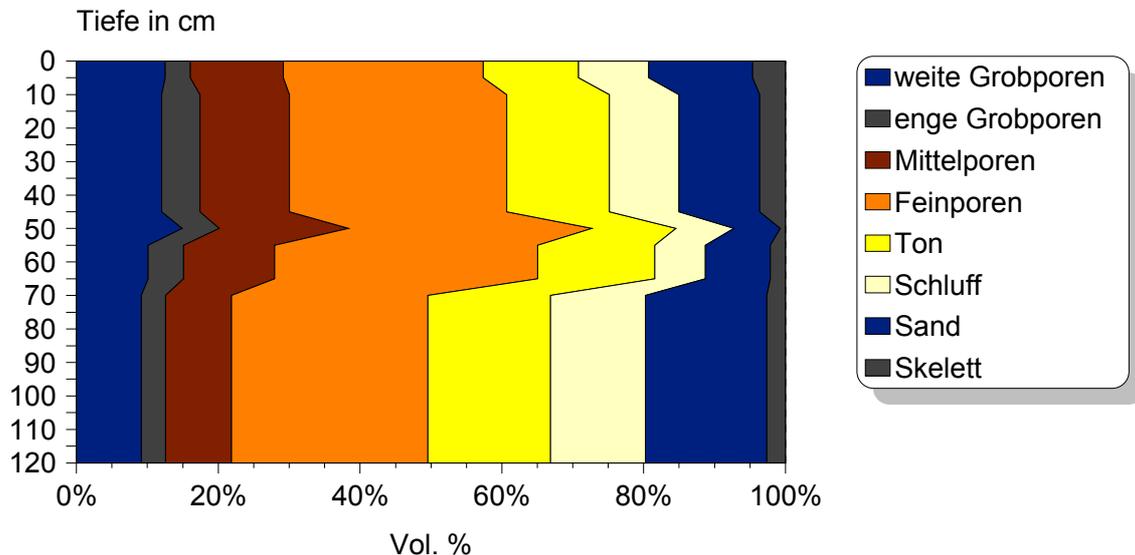


Abbildung 9: Poren- und Korngrößenverteilung des Leitprofils 2, zweijährige Buschbrache (*guamil*), Chicacnab

Bei der Feldaufnahme wurde weiterhin die Durchwurzelung und physiologische Gründigkeit (Durchwurzelbarkeit) untersucht. Die Wurzeln dienen vor allem dem Transport von Wasser und Nährstoffen aus dem Boden sowie der Verankerung der Pflanzen im Boden. Aufgrund der starken Verwitterung ist im gesamten Untersuchungsgebiet eine tiefe bis sehr tiefe physiologische Gründigkeit vorhanden, so dass die Pflanzenwurzeln unter den gegebenen Bedingungen sehr gut in den Boden eindringen können. Die Durchwurzelungsintensität wird mittels der mittleren Anzahl der Feinwurzeln pro dm^2 ausgedrückt. Hier werden Unterschiede bezüglich der Landnutzungsintensitäten deutlich: In den Naturwäldern sind im Oberboden sehr starke bis extrem starke Durchwurzelungsintensitäten zu verzeichnen, bis hin zum Wurzelfilz in den oberen Horizonten (z.B. Leitprofil 1, 7, 10). Der Primärwald Chicacnab (LP1) hat im Ah-Horizont > 50 Feinwurzeln/ dm^2 , im AhBv noch 6-10 Feinwurzeln/ dm^2 , im oberen Bv-Horizont 3-5 und im unteren Bv-Horizont 1-2 Feinwurzeln/ dm^2 . Die Sekundärwaldflächen weisen noch sehr starke Durchwurzelungsintensitäten auf, wohingegen die landwirtschaftlich genutzten Flächen nur noch mittlere bis starke Intensitäten besitzen. Der 10-jährige Sekundärwald in Chelemhá (LP11) hat im Ah-Horizont 21-50 Feinwurzeln/ dm^2 , die seit 100 Jahren bewirtschaftete *milpa* nur 11-20 FW/ dm^2 . Alle untersuchten Leitprofile zeigen den gleichen Verlauf einer Abnahme mit der Bodentiefe. Bedingt durch die nicht sehr tiefgehende Vegetation liegt verständlicherweise in den unteren Horizonten eine sehr schwache Durchwurzelungsintensität vor.

Das Bodengefüge beeinflusst maßgeblich den Wasser- und Lufthaushalt, die Durchwurzelbarkeit, die Verfügbarkeit der Nährstoffe und weitere wichtige bodenkundliche und pflanzenphysiologische Eigenschaften. Die Böden im Untersuchungsgebiet weisen in den Ah-Horizonten vor allem ein Krümelgefüge auf. Vereinzelt sind im Oberboden auch Gefügefragmente mit rauen Bruchflächen erkennbar. Da diese Aggregate kleiner als 50 mm im Durchmesser sind, liegt vereinzelt ein Bröckelgefüge vor. Im Unterboden weisen die Leitprofile ohne Ausnahme eine zusammenhaftende, nicht gegliederte Bodenmasse auf, so dass ein Kohärentgefüge vorliegt.

Die Farbansprache nach den MUNSELL-Farbtafeln dient der Charakterisierung und Abgrenzung einzelner Bodenhorizonte. Zudem liefert sie Aussagen über hydromorphe Beeinflussung, Redoxpotential, Humuskonzentrationen sowie Hinweise auf bodengenetische Prozesse. Die Cambisole weisen überwiegend graubraune bis gelblichbraune Farben auf. Die genauen Farbbezeichnungen sind den einzelnen Leitprofilbeschreibungen zu entnehmen (Tabellen 32 bis 46 im Anhang). Die hydromorphe Beeinflussung ist als gering einzustufen. Das Grundwasser hat einen geringen Einfluss. Reduktive sowie oxidative Eigenschaften treten nur sehr vereinzelt auf und wurden im Leitprofil 1 bis 7, 10 und 11 dokumentiert. Die Oxidationsmerkmale sind vor allem hellrostfarben bis ockerfarben, die reduzierten Eisenverbindungen schwarzfarben oder gebleicht.

6.1.2 Bodenchemische Parameter

In Bezug auf die Fragestellungen dieser Untersuchung ist den bodenchemischen Parametern eine wichtige Rolle zuzuschreiben. Es ist zu erwarten, dass vor allem im Rahmen der bodenchemischen Zusammensetzung Veränderungen durch die Landnutzung vorliegen. Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen chemischen Parameter ausführlich dargestellt.

6.1.2.1 pH und Leitfähigkeit

Der Reaktionszustand der Böden in den Untersuchungsgebieten der Sierra Yalijux ist durchweg als sauer zu beurteilen. Die Mittelwerte der pH-Werte in CaCl_2 aller Bodenproben liegen in den Teilregionen Chicacnab und Chelelhá mit pH 4,6 bzw. pH 4,3 recht dicht beisammen (siehe Abbildung 10), und sind somit als stark sauer einzustufen. Im Tal von Mestelá liegt mit einem durchschnittlichen pH von 5,9 ein mittelsaures Milieu vor. Im Untersuchungsgebiet sind Böden mit äußerst saurem Reaktionszustand $< \text{pH } 3$ vertreten. Der Minimalwert liegt bei pH 2,9 in Chelelhá unter Primärwald [0-20 cm].

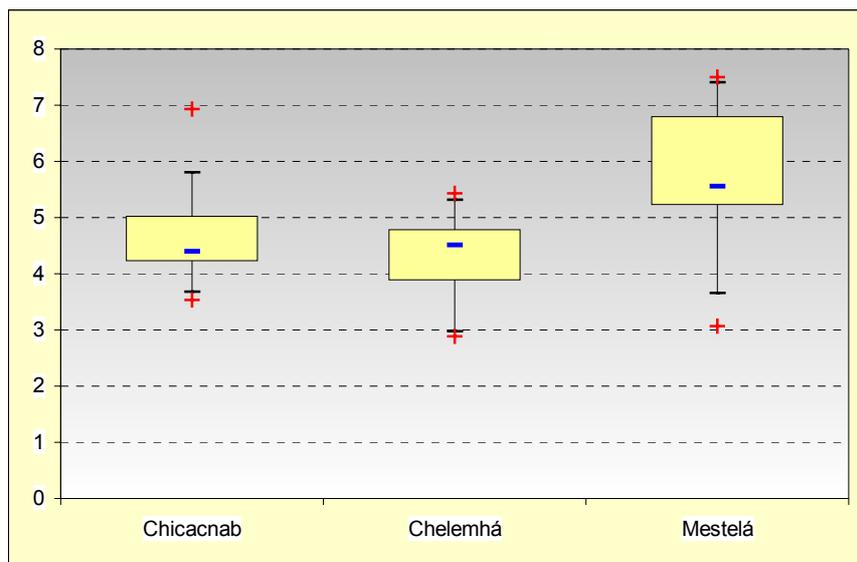
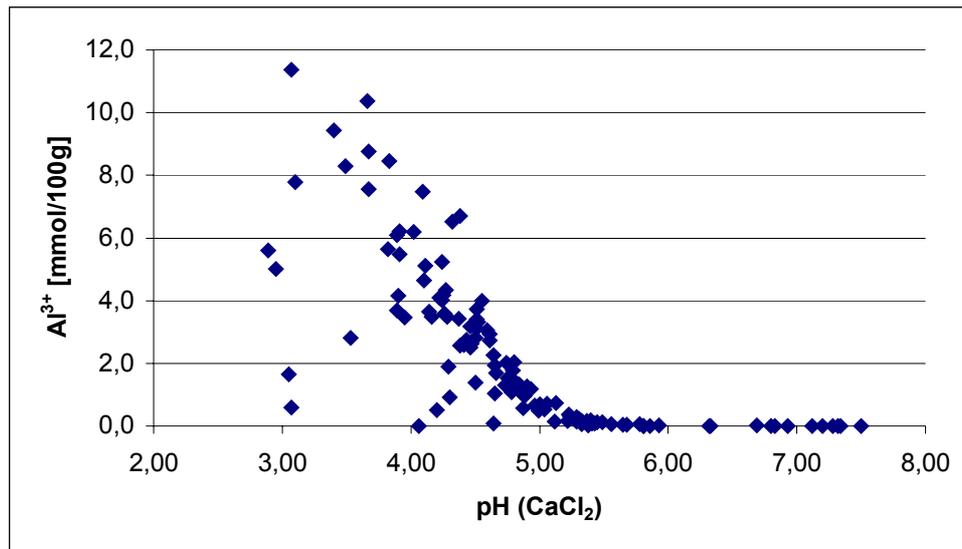
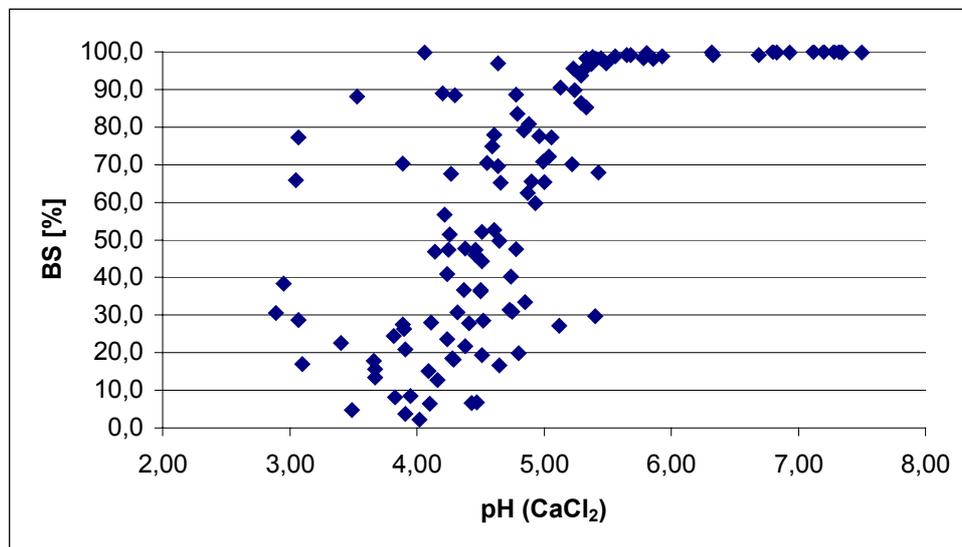


Abbildung 10: pH-Werte (CaCl_2) in den unterschiedlichen Teilregionen des Untersuchungsgebietes

Ein deutlicher Zusammenhang bezüglich der pH-Werte wird im Vergleich zu dem Gehalt an Al^{3+} -Ionen sowie der Basensättigung deutlich (Abbildung 11). Bei Böden mit einem $\text{pH} < 5$ sind höhere austauschbare Aluminiumgehalte zu verzeichnen als bei Böden mit einem $\text{pH} > 5$. Gleichzeitig liegt bei diesen Böden mit $\text{pH} > 5$ die Basensättigung fast ausnahmslos zwischen 90% und 100% (Abbildung 12). Korrelationen zwischen pH-Werten und organischem Kohlenstoffgehalt oder auch austauschbarem Calcium sowie dem Gesamtbasengehalt waren nicht erkennbar.

Abbildung 11: Korrelation zwischen pH (CaCl₂) und austauschbarem Al³⁺Abbildung 12: Korrelation pH(CaCl₂) und Basensättigung

Ein genereller Anstieg des pH-Wertes in Folge der Brandrodung konnte nicht nachgewiesen werden. Die regionalen Schwankungen der Bodeneigenschaften scheinen größeren Einfluss auf die Varianz der pH-Werte zu haben als die Landnutzung. In Chelemhá hingegen ist eine Zunahme des pH-Wertes von Primärwaldflächen hin zu Flächen mit anthropogenem Einfluss zu erkennen (siehe Abbildung 13). Während im Primärwald der pH im Oberboden bei 3,4 liegt, weisen die Werte auf Sekundärwald- und *milpa*-Flächen alle > pH 4,5 auf (jeweils CaCl₂).

Bezüglich der Leitfähigkeit ist kein einheitliches Bild zu erkennen. In Chelemhá ist aufgrund der lang andauernden Landnutzung eine Abnahme der Leitfähigkeit zu verzeichnen, die jedoch aufgrund von Bodenerhaltungsmaßnahmen wieder rückläufig ist (Abbildung 13). Die *milpa*-Flächen mit und ohne Brand weisen mit 107 und 102 $\mu\text{S}/\text{cm}$ keinen wesentlichen Unterschied auf, wohingegen auf der Fläche mit Bodenerhaltungsmaßnahmen die Leitfähigkeit auf 210 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ansteigt (Abbildung 13).

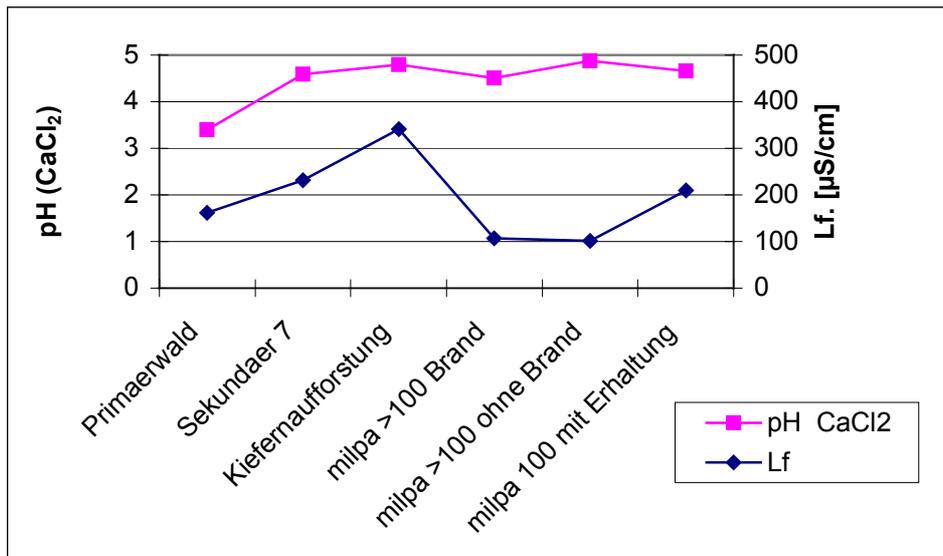


Abbildung 13: pH (CaCl₂) und Leitfähigkeit in Abhängigkeit der Landnutzung in Chelemhá (0-30 cm)

In Chicacnab ist keine eindeutige Verringerung der elektrischen Leitfähigkeit mit Dauer der Landnutzung erkennbar. Die Oberböden (0-30 cm) unter Primärwald weisen in Chicacnab Werte zwischen 66 und 107 µS/cm auf, die landwirtschaftlichen *milpa*-Flächen haben Werte zwischen 64 und 111 µS/cm. Die höchsten Leitfähigkeitswerte werden in den sehr humosen Horizonten erreicht: unter Primärwald (LP 1, 0-10 cm, Chicacnab) 792 µS/cm und auf der 15-jährigen *milpa* (LP 3, 0-12 cm, Chicacnab) 1190 µS/cm.

Hinsichtlich des Parameters der Leitfähigkeit ähneln sich die Regionen Chelemhá (Mittelwert: 138,6 µS/cm) und Chicacnab (Mittelwert: 132,0 µS/cm) sehr, wohingegen die Werte im Tal von Mestelá deutlich geringer ausfallen (Mittelwert 71,7 µS/cm). Die Werte von pH und Leitfähigkeit aller untersuchten Böden finden sich im Anhang in den Tabellen 50 und 51.

6.1.2.2 Kohlenstoff, Stickstoff und C/N-Verhältnis

Bei der Betrachtung der einzelnen Parameter wird deutlich, dass die Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte einer sehr starken Veränderung durch die Landnutzungsänderung unterliegen. So erkennt man z.B. anhand der falschen Zeitreihe in Chelemhá sehr deutlich, dass sich der Kohlenstoffgehalt kontinuierlich verringert. Auch nach der Einführung von Bodenschutzmaßnahmen und weiter andauernder Landnutzung nimmt der Gehalt an organischer Substanz ab (Abbildung 14). Während die Kohlenstoffgehalte in Chelemhá im Oberboden (0 - 30 cm) im Primär- und Sekundärwald 18,0 und 19,1% betragen, verringern sich die Gehalte nach über hundertjähriger Nutzung auf 12,8% mit Brand, 9,0% ohne Brand und 7,5% auf Flächen mit Bodenschutzmaßnahmen.

Der Stickstoff scheint an dieser Stelle schneller auf eine bodenverbessernde Maßnahme zu reagieren: durch die Anpflanzung von Leguminosen als Heckenpflanzung quer zur

Hangrichtung ist eine Anreicherung von Stickstoff laboranalytisch nachzuweisen. Während auf der traditionell bearbeiteten Fläche mit und ohne Brand ein Stickstoffgehalt von jeweils 0,5% vorliegt, steigt dieser mit Bodenschutzmaßnahmen auf über 0,7% an.

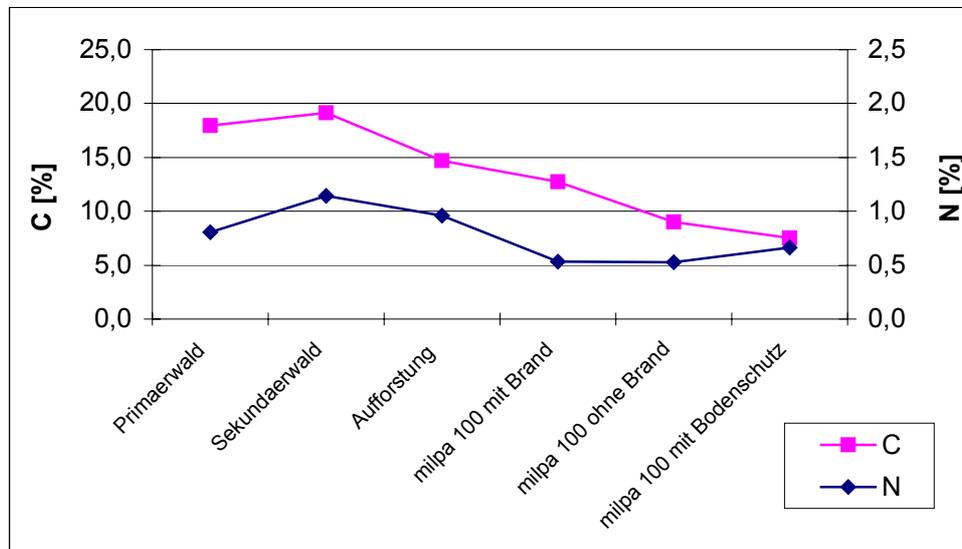


Abbildung 14: Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte in Chelemhá (0-30 cm)

In Chicacnab wird die Abnahme der C- und N-Gehalte noch deutlicher, vor allem in den Ah-Horizonten ist diese Veränderung gravierend. Die Abfolge beschreibt den abnehmenden C_t - und N_t -Gehalt: Primärwald > 15 Jahre *milpa*-System > 25 Jahre *milpa* > 60 Jahre *milpa* > Brache > Sekundärbusch (Abbildung 15). In den sehr humosen Ah-Horizonten im Primärwald liegen die Werte bei 35,2%. Mit der landwirtschaftlichen Nutzung fallen die Gehalte drastisch nach 15 Jahren auf 25,7%, nach 25 Jahren auf 15,5% und nach 60 Jahren auf 10,0%. Die Sekundärbusch- und Bracheflächen weisen C-Gehalte von 6,3 und 7,1% auf.

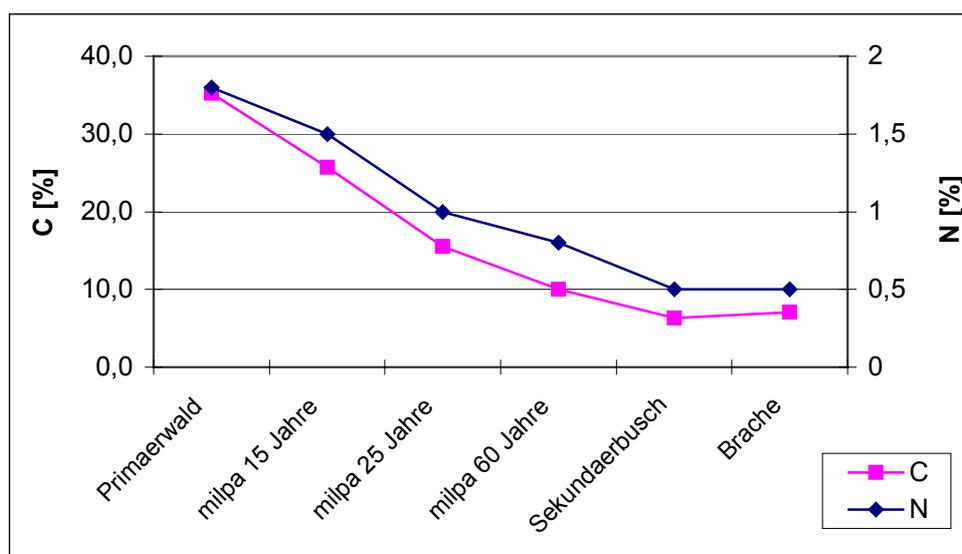


Abbildung 15: Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte in Chicacnab (Ah-Horizont)

Wie eng Kohlenstoff und Stickstoff miteinander korrelieren verdeutlicht Abbildung 16. Es liegt ein Bestimmtheitsmaß von über 83% vor. Auch die Bedeutung des Kohlenstoffs für die effektive Kationenaustauschkapazität ist erkennbar, wobei die Werte recht stark streuen, so dass ein Bestimmtheitsmaß von nur 30% vorliegt (Abbildung 17). Ein Zusammenhang zwischen Kohlenstoff und dem C/N-Verhältnis ist gegeben, jedoch erreicht das Bestimmtheitsmaß nur 43% (siehe Abbildung 18).

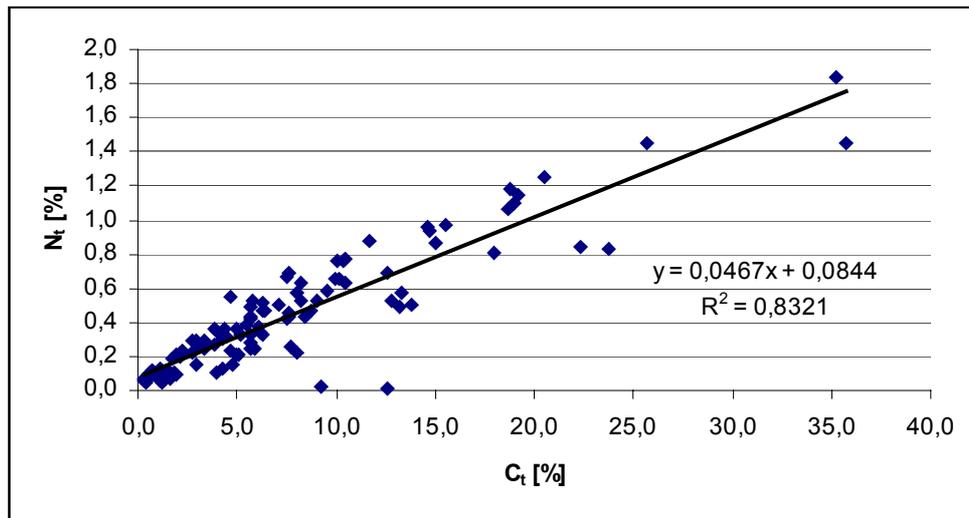


Abbildung 16: Korrelation zwischen Gesamtkohlenstoff und Gesamtstickstoff

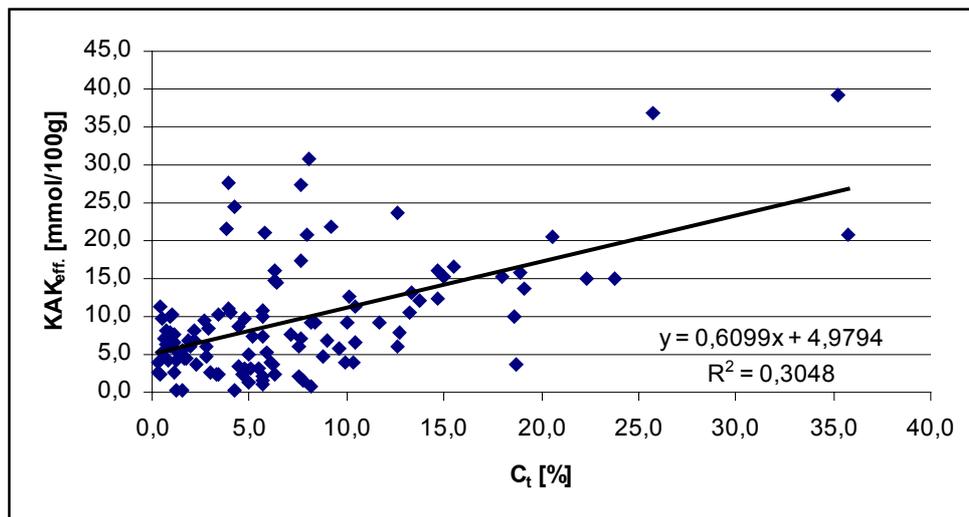


Abbildung 17: Korrelation zwischen Gesamtkohlenstoff und effektiver Kationenaustauschkapazität

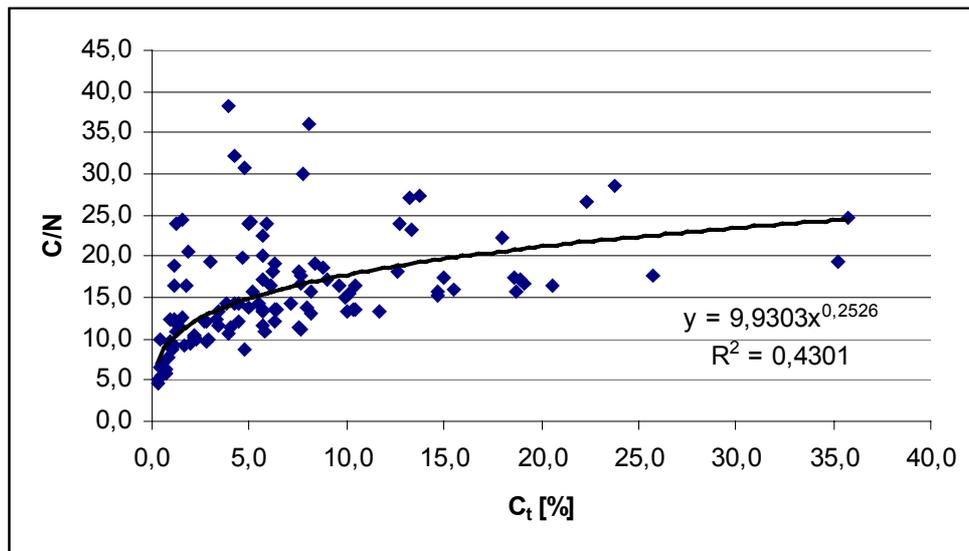


Abbildung 18: Korrelation zwischen Gesamtkohlenstoff und C/N-Verhältnis

Die Abbildung 19 verdeutlicht die regionalspezifischen Unterschiede der Kohlenstoffgehalte in den drei Untersuchungsgebieten. Die Spannweiten der Kohlenstoffgehalte sind ähnlich, wobei der Mittelwert und auch der Median in Chelelhá mit 9,3% respektive 7,6% höher sind als in Chicacnab (Mittel: 5,6%, Median: 4,0%) und Mestelá (Mittel: 6,6%, Median: 5,0%). In Chelelhá liegen 50% der Werte zwischen 4% und 14% Gesamtkohlenstoff. Der Maximalwert in Chelelhá ist 23,7%.

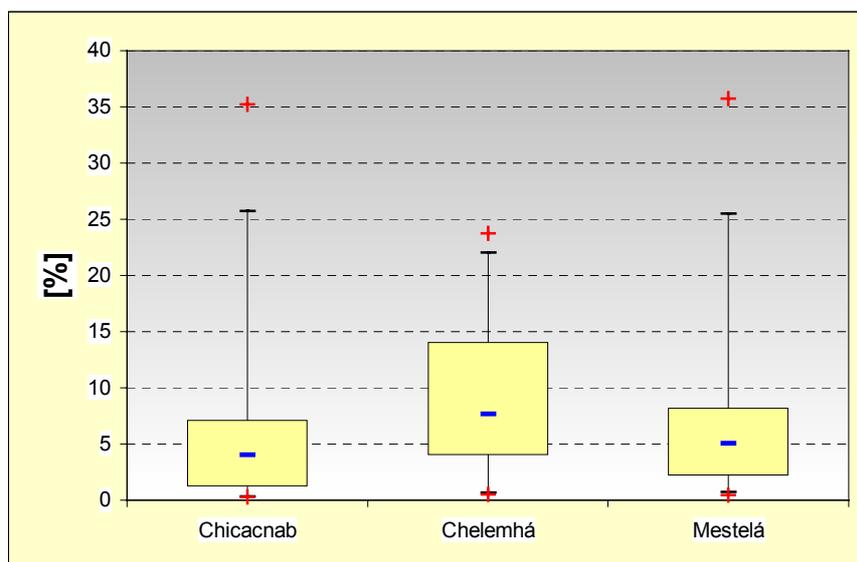


Abbildung 19: C_t -Gehalte in den unterschiedlichen Teilregionen des Untersuchungsgebietes

Die Kohlenstoffvorräte weisen auffallend hohe Gehalte auf, wobei auch hier eine Verringerung aufgrund der Landnutzung zu verzeichnen ist. Während unter Primärwald 320 t/ha vorhanden sind, liegen unter landwirtschaftlicher Fläche ohne Brandeinwirkung 160 t/ha

vor (Abbildung 20). Auffällig ist der Unterschied zwischen ungestörtem Primärwald und den anthropogen beeinflussten Flächen. Interessant ist, dass auf der *milpa* mit Bodenschutz zwar ein geringerer prozentualer Gesamtkohlenstoffgehalt ermittelt wurde (Abbildung 14), jedoch nach Berücksichtigung der Lagerungsdichte ein größerer Kohlenstoffvorrat vorliegt, als unter *milpa* ohne Brand (Abbildung 20). Diese Anreicherung kann als positive Auswirkung der Bodenschutzmaßnahmen angesehen werden.

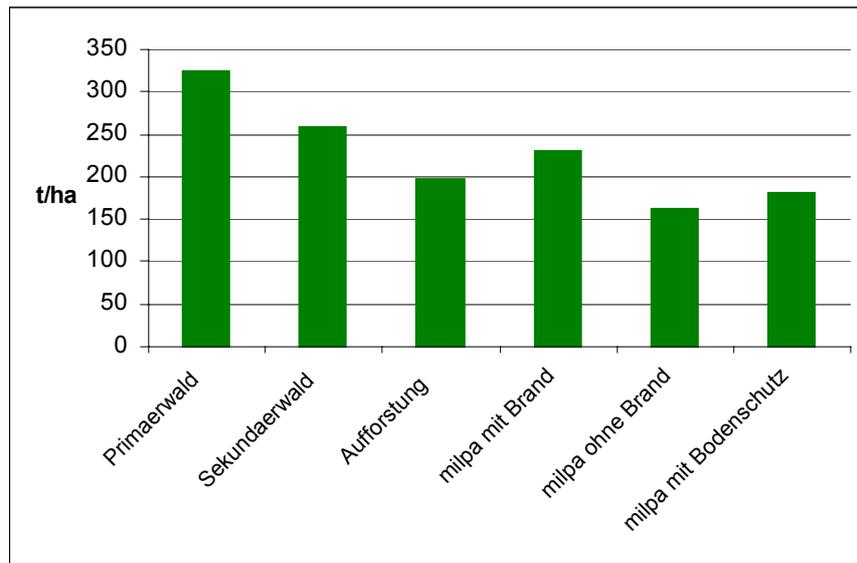


Abbildung 20: Kohlenstoffvorräte im Oberboden in Chelemhá (0-30 cm) [t/ha]

Abschließend lässt sich festhalten, dass die Kohlenstoff- und Stickstoffvorräte im Untersuchungsgebiet sehr hoch sind, gleichzeitig jedoch ein deutlicher Einfluss auf die Dynamik der C_t - und N_t -Gehalte aufgrund der landwirtschaftlichen Nutzung nachweisbar ist.

6.1.2.3 Totalgehalte

Die Konzentrationen der Totalgehalte liefern eine Aussage über die Vorräte des Nährstoffhaushaltes im Boden. Daher wurden im Rahmen dieser Untersuchung sowohl die Nährstoffkonzentrationen von Natrium, Magnesium, Phosphor, Kalium, Calcium, Mangan, Eisen, Aluminium und Schwefel als auch die Gehalte der Schwermetalle bestimmt, um Aussagen über potenzielle Toxizitätserscheinungen (Blei, Cadmium, Chrom, Cobalt, Kupfer, Nickel, Thallium, Zink, Molybdän) treffen zu können, die z.B. Wachstumseinschränkungen bei Pflanzen bedeuten könnten.

Bei den Totalgehalten im Oberboden (0-30cm) ist ein recht einheitliches Bild zu erkennen (Abbildung 21). Die falsche Zeitreihe in der Comunidad Chelemá verdeutlicht, dass im Primärwald und Sekundärwald vergleichsweise niedrige Nährstoffgehalte vorliegen, mit

Ausnahme des Ca-Gehaltes im Sekundärwald. Der Boden im Primärwald weist Nährstoffkonzentrationen in Höhe von 1480 mg/kg Boden für Natrium auf, sowie 2580 mg/kg für Kalium, 3170 mg/kg für Magnesium und 1840 mg/kg für Calcium. Eine Möglichkeit für die relativ geringen Konzentrationen wäre, dass der Littereintrag nur langsam mineralisiert wird (siehe Kapitel 6.1.3, die biologische Aktivität liegt unter Primärwald bei 4,8 mg/d [März bis Mai 2002] und ist damit relativ gering im Vergleich zu den Nutzflächen) und infolgedessen nur geringe Nährstoffmengen nachgeliefert bzw. akkumuliert werden. Ein ungestörter Nährstoffkreislauf – ohne starke Akkumulationen von Nährstoffen – läge vor, da diese unmittelbar in die Biomasse übergehen. Gegen eine langsame Mineralisierung spricht dessen ungeachtet die Tatsache, dass keine mächtigen Humusaufgaben vorhanden sind. Es ist folglich auch denkbar, dass unter Primärwald eine relativ schnelle Mineralisierung stattfindet und dann der Verbrauch für die Pflanzenproduktion so groß ist, dass die Totalgehalte im Vergleich zu den landwirtschaftlich genutzten Flächen geringer ist. Gezielte Untersuchungen zur Mineralisierung in den Bergnebelwäldern Guatemalas würden hierüber Aufschluss geben können.

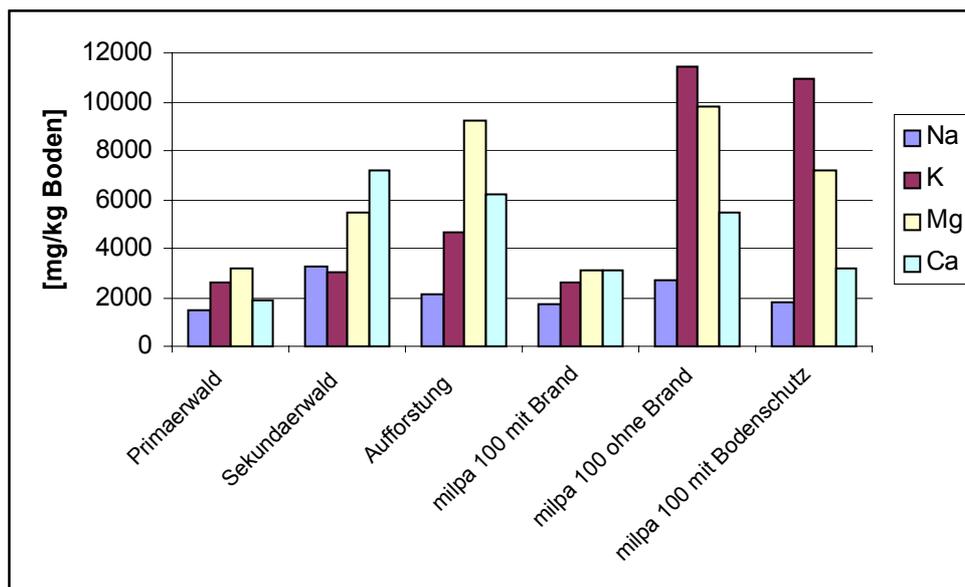


Abbildung 21: Nährstoffkonzentrationen in der Gemeinde Chelemhá im Oberboden (0-30cm)

Ebenfalls geringe Konzentrationen liegen auf der langjährigen Nutzfläche des *milpa*-Systems vor, auf der nach wie vor Brandrodung praktiziert wird. Ursache für die geringen Nährstoffgehalte sind die Verluste durch Volatilisation in die Atmosphäre (RAISON et al. 1985a, 1985b, MACKENSEN et al. 1996) und verstärkte Auswaschungsverluste durch gelöste Nährstoffe aus der Asche (MARKUSSEN 2002, MACKENSEN 1998, MALMER 1993, KLINGE 1997). Die Werte auf der mit Brand bewirtschafteten Flächen liegen im Oberboden bei 1744 mg/kg für Natrium, 2610 mg/kg für Kalium, 3080 mg/kg für Magnesium und 3100 mg/kg für Calcium.

Auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen, die nicht mehr jährlich gebrannt werden oder Bodenschutzmaßnahmen genießen, sind die Nährstoffkonzentrationen (K, Mg, Ca) sehr viel höher als unter Primärwald. Für Kalium wurden Werte von über 11.000 mg/kg erreicht und für Magnesium über 7.000 mg/kg. Diese starke Anreicherung auf den nicht gebrannten und mit Schutzmaßnahmen versehenen Flächen wird auch für Eisen- und Aluminiumkonzentrationen (Abbildung 22) und Mangan- und Phosphorkonzentrationen deutlich (Abbildung 23).

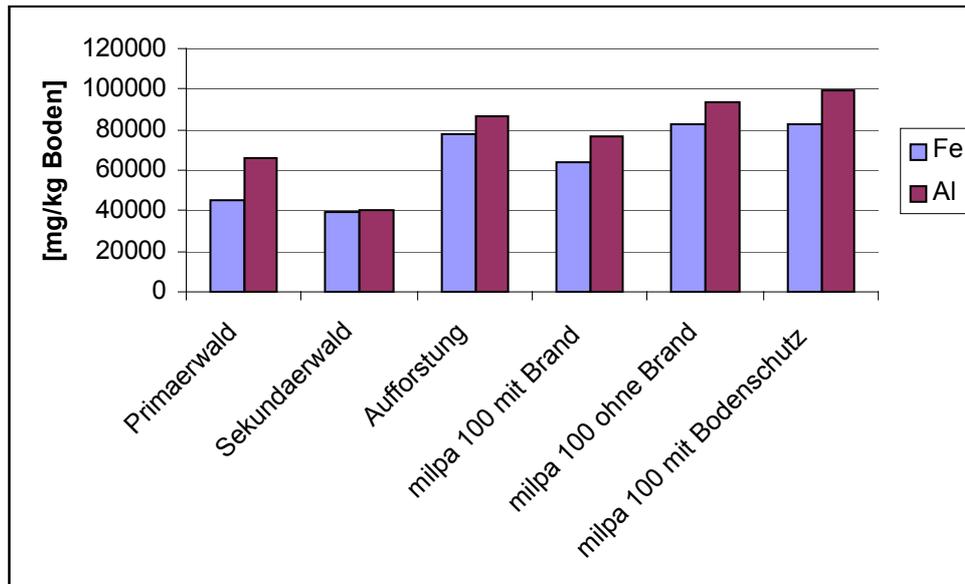


Abbildung 22: Eisen- und Aluminiumkonzentrationen auf Flächen in der Gemeinde Chelemhá im Oberboden (0-30cm)

Auf den Flächen ohne Brand und mit Bodenschutz liegen die Gehalte von Eisen bei 82.000 mg/kg und Aluminium bei 93.000 mg/kg. Unter Primärwald betragen die Gehalte ungefähr die Hälfte und liegen bei 45.000 mg/kg Eisen und 65.000 mg/kg Aluminium.

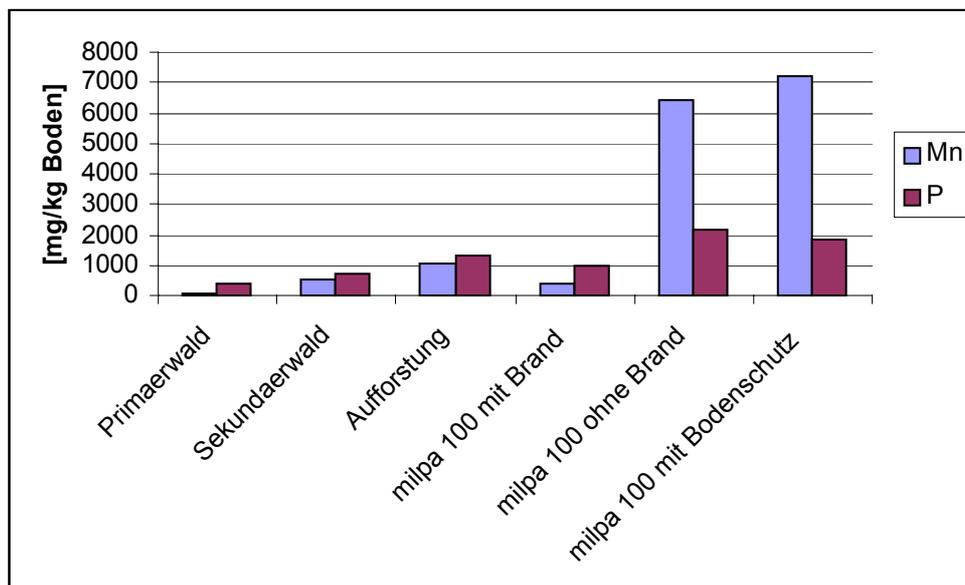


Abbildung 23: Mangan- und Phosphorkonzentrationen auf Flächen in der Gemeinde Chelemhá im Oberboden (0-30cm)

Die Gesamtposphorgehalte liegen im Primärwald bei 426 mg/kg, der totale Mangangehalt bei 86 mg/kg. Mit landwirtschaftlicher Nutzung nehmen diese zu und betragen auf Flächen mit Bodenschutzmaßnahmen 1.800 mg/kg Phosphor und 7.200 mg/kg Mangan (Abbildung 23).

Cobalt, Kupfer, Molybdän, Cadmium und Thallium konnten im gesamten Untersuchungsgebiet nicht nachgewiesen werden. Die Ursache hierfür ist, dass die mittleren Gehalte dieser Mikro-Nährelemente im hier überwiegend aus Kalken bestehenden Muttergestein von Natur aus sehr geringe Konzentrationen aufweisen. Hinzu kommen die humiden Bedingungen in der Region, die zu einer Verarmung an Metallen führt. Somit liegt keine regionale lithogene Belastungssituation vor.

Für das Element Blei sind vor allem in unteren Bodenhorizonten höhere Konzentrationen nachweisbar, die zum Teil weit über dem in Tabelle 16 genannten Grenzwert von 100 mg/kg liegen. Das Maximum liegt bei 743,6 mg/kg Boden (Leitprofil 14, Mestelá, Tabelle 45 im Anhang). Da in der Region auch eine Blei-Mine vorhanden ist, sind diese hohen Konzentrationen auf ein natürliches Vorkommen zurückzuführen.

Element	normale Konzentration mg/kg Boden	Grenzwert mg/kg
Cd	0,01 - 0,7	3
Co	1 - 10	(50)
Cr	2 - 50	100
Cu	1 - 40	100
Mo	0,2 - 5	-
Ni	2 - 50	50
Pb	0,1 - 20	100
Tl	0,01 - 0,5	(1)
Zn	3 - 50	300

Tabelle 16: Normale Konzentrationen und Grenzwerte von Schwermetallen in Böden (aus: BLUME 1992, S. 303)

Anders sieht dies jedoch bei erhöhten Schwefelgehalten in den Oberböden aus. Die Tabellen 55 bis 57 im Anhang liefern einen Überblick über die Totalgehalte der untersuchten Böden. Die Oberböden weisen Schwefelgehalte in Höhe von 70 bis 200 mg/kg Boden auf, und dieses unabhängig von der Landnutzung: Der Primärwald in Chelemhá weist 190 mg Schwefel pro kg Boden auf, die Kiefernauaufforstung 370 mg/kg, die 100-jährige *milpa*-Fläche hat einen Gehalt von 87 mg/kg Boden im Oberboden (0-30 cm). Es gibt jedoch auch Flächen, auf denen im Oberboden kein Schwefel nachweisbar ist. Dennoch ist von einem anthropogenen Eintrag auszugehen. Durch die Brandrodung sind nach MACKENSEN (1998) Nährstoffverluste in die Atmosphäre beim Verbrennen von Residualphytomasse vor allem bei Stickstoff (Mittelwert: 79%) und Schwefel (Mittelwert: 63%) zu verzeichnen. Auch MERKEL & SPERLING (1996) nennen als anthropogene Herkunft von Schwefel vor allem die Verbrennung fossiler

Energieträger sowie die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Landwirtschaft. Die Anreicherung von Schwefel ist sowohl auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen präsent als auch unter Naturwald, so dass von einem fast flächendeckenden anthropogenen Einfluss als Eintrag aus der Atmosphäre ausgegangen wird. Dabei muss auf die langen Zeiträume der Anreicherung hingewiesen werden, da in der Region Alta Verapaz seit Jahrhunderten betrieben wird.

BLUME 1992 geht für mitteleuropäische Böden von einer Schwefelversorgung in Höhe von 100 bis 2.000 mg/kg Boden aus (Tabelle 17). Somit liegen die im Untersuchungsgebiet vorliegenden Schwefelgehalte im normalen Bereich. Dies belegen auch Kennwerte aus den Tropen. LANDON (1991) legt 200 mg S / kg Boden als potenzielles Defizitlevel fest.

Element	N	S	Ca	Mg	K	P
Gesamtgehalt im Boden [mg/kg]	300 – 40.000	100 – 2.000	1.000 – 15.000	500 – 5.000	2.000 - 30.000	200 – 1.000
Element	Mo	Fe	Mn	Cu	Zn	Co
Gesamtgehalt im Boden [mg/kg]	0,3 - 5	1000 - 40000	100 - 5000	5 - 100	10 - 300	0,2 - 200

Tabelle 17: Kennwerte der Mineralstoffversorgung von Böden Mitteleuropas (BLUME 1992, S. 83)

Abschließend betrachtet weisen die Totalgehalte eine sehr uneinheitliche Verteilung auf. Die Nährstoffkonzentrationen sind auf den landwirtschaftlichen Flächen in der Regel durch höhere Gesamtgehalte gekennzeichnet als auf ungestörten Flächen.

6.1.2.4 Effektive Kationenaustauschkapazität

Die Kationenaustauschkapazität (KAK) stellt die Menge der austauschbar gebundenen Kationen eines Bodens dar, insbesondere Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ , H^+ , Al^{3+} . Nach PAGEL (1981) und PAGEL et al. (1982) ist die KAK der entscheidende Teil des Transformations- und Speicherungsvermögens des Bodens und stellt somit eine wichtige Grundlage der Bodenfruchtbarkeit dar. Dabei ist die effektive Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) als diejenige KAK definiert, die bei dem im Boden gegebenen pH-Wert besteht. Die potentielle KAK hingegen liegt bei einem definierten pH von 8.2 vor.

Die Tabellen 52 bis 54 im Anhang zeigen die einzelnen Gehalte der effektiven Kationenaustauschkapazitäten. Die Mittelwerte liegen in der Region Chicacnab bei 10,2 mmol/100g Boden, in Mestelá bei 12,0 mmol/100g Boden und in Chelehmá ist die KAK_{eff} im Mittel mit einem Wert von 8,6 mmol/100g Boden am geringsten. Es werden Maximalwerte von 47 mmol/100g Boden erreicht (sehr humoser Ah-Horizont im Primärwald, Chelehmá, LP 7, Tabelle 38 im Anhang).

Die Gesamtwerte der effektiven Kationenaustauschkapazität zeigen deutliche Einflüsse durch landwirtschaftliche Nutzung (Abbildung 24). In Chelehmá ist die KAK_{eff} unter Primärwald mit 15 mmol/100g Boden nach LANDON (1991) als mittel einzustufen. Nach 100-jähriger Nutzung hingegen nimmt sie auf Werte von 6 mmol/100g Boden ab und ist folglich im unteren Bereich der Klasse ‚gering‘ zu klassifizieren. Durch das Ausbleiben der Brände und durch die Einrichtung von Bodenschutzmaßnahmen erhöht sich wiederum die Kationenaustauschkapazität auf 6,8 bzw. 7,8 mmol/100 g Boden.

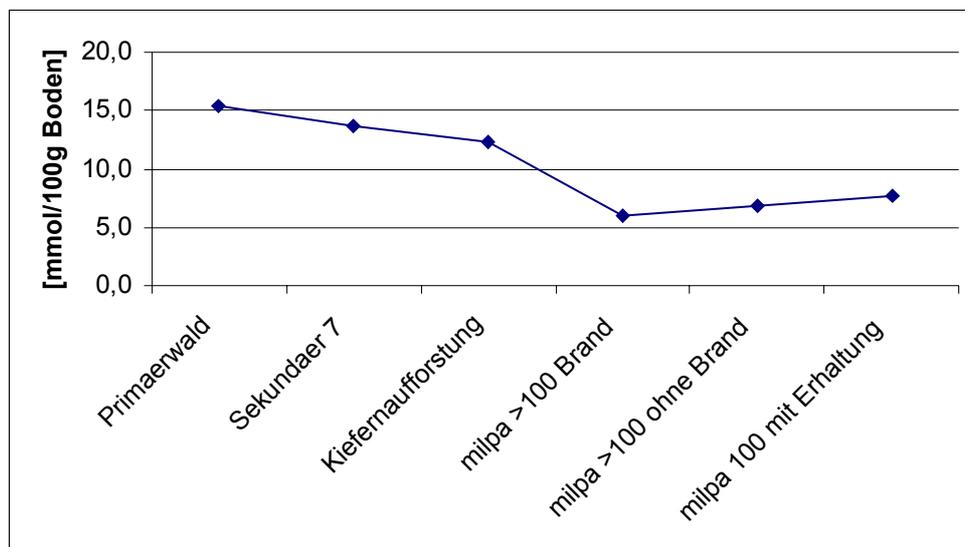


Abbildung 24: KAK_{eff} [mmol/100g Boden] im Oberboden (0-30cm) Chelehmá

Ein ganz ähnliches Bild zeichnet sich in Chicacnab ab. Knapp 15 mmol/100g Boden im Primärwald sinken auf 7 mmol/100g Boden auf landwirtschaftlichen Flächen (25-jährige *milpa*, Abbildung 25). Eine Ausnahme bildet in diesem Falle die zweijährige Brachefläche (*guamil*) mit 21 mmol/100g Boden. Eine Erklärung dafür sind die auf dieser Fläche

vorhanden gewesenen kolluvialen Umlagerungen (zu den fossilen Horizonten siehe Kapitel 6.1.5.1).

Im regionalen Vergleich verfügt Chelemhá über die geringste Kationenaustauschkapazität, gefolgt von Chicacnab und Mestelá (Mittelwerte: 8,6 – 10,2 – 12,0 mmol/100g Boden). Nach dem Bewertungsschema von LANDON verfügen alle Böden über eine geringe Kationenaustauschkapazität.

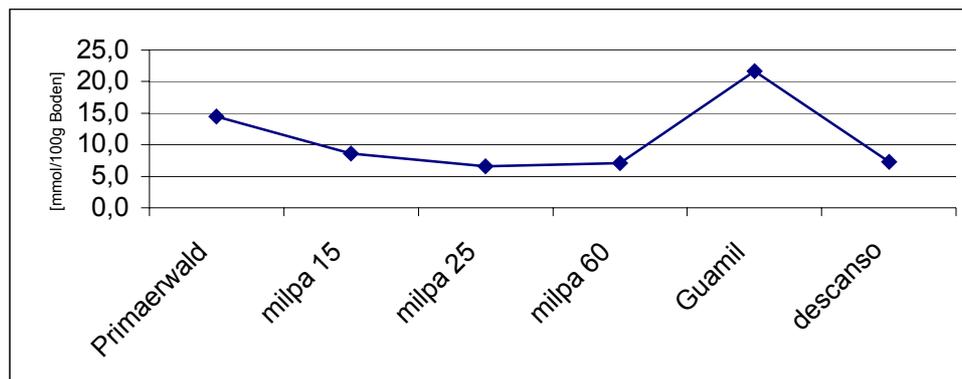


Abbildung 25: KAK_{eff} [mmol/100g Boden] im Oberboden (0-30cm) Chicacnab

In dem Untersuchungsgebiet Chelemhá wird deutlich, dass sich der prozentuale Anteil des Mangans an der gesamten effektiven Kationenaustauschkapazität auf Flächen unter landwirtschaftlicher Nutzung deutlich erhöht (Abbildung 26). Sowohl im Ober- als auch im Unterboden ist der prozentuale Anteil unter Primärwald vernachlässigbar gering (Abbildung 26 und 27). Dieses Phänomen ist in der falschen Zeitreihe Chicacnabs nicht erkennbar. Hier ist der prozentuale Anteil des Mangans jeweils in etwa gleich groß (Abbildung 28 und 29). MERKEL & SPERLING (1996) betonen, dass Mangankonzentrationen in Wasser und Boden weitgehend unabhängig von menschlichen Aktivitäten zu sein scheinen. Vielmehr spielt die geogene Herkunft eine elementare Rolle. Im Hinblick auf die Biodiversität ist zu bedenken, dass Mangan für alle Lebewesen ein essentielles Element ist. Eine Unterversorgung kann sowohl bei Pflanzen, Tieren als auch beim Menschen verschiedene Mangelerscheinungen hervorrufen, wie z. B. Wachstumsstörungen, Zyklusstörungen, Dermatitis etc. (MERKEL & SPERLING 1996). Ein Manganüberschuss hingegen kann ebenfalls Krankheitserscheinungen bewirken.

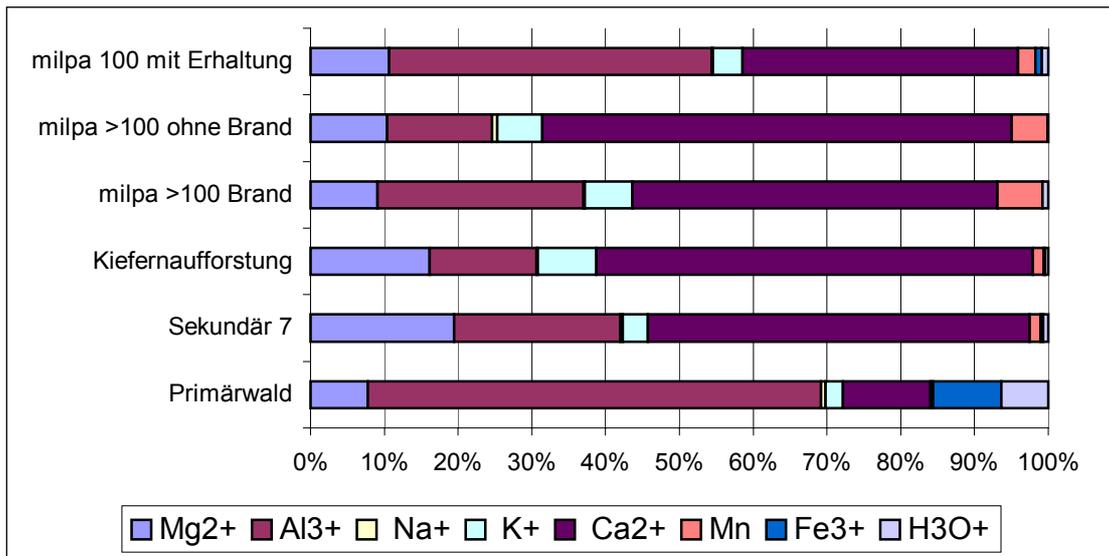


Abbildung 26: Kationenaustauschkapazität in Chelemhá (0-30 cm)

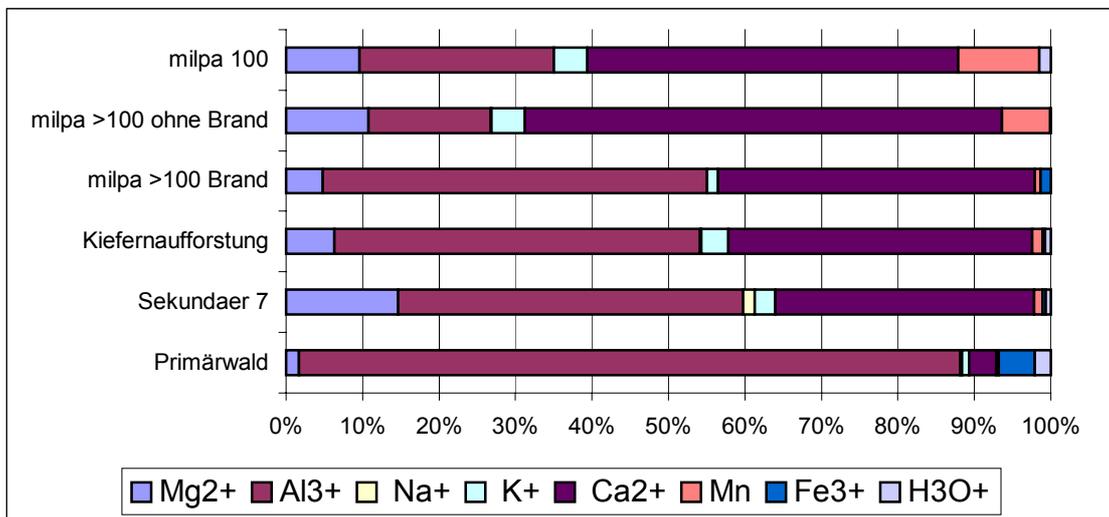


Abbildung 27: Kationenaustauschkapazität in Chelemhá (30-60 cm)

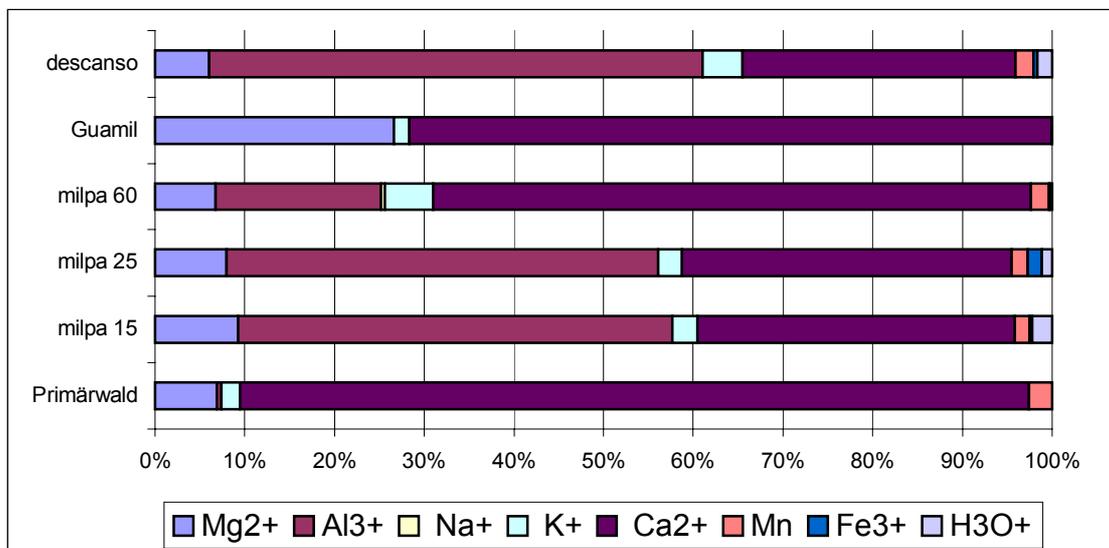


Abbildung 28: Kationenaustauschkapazität in Chicacnab (0-30 cm)

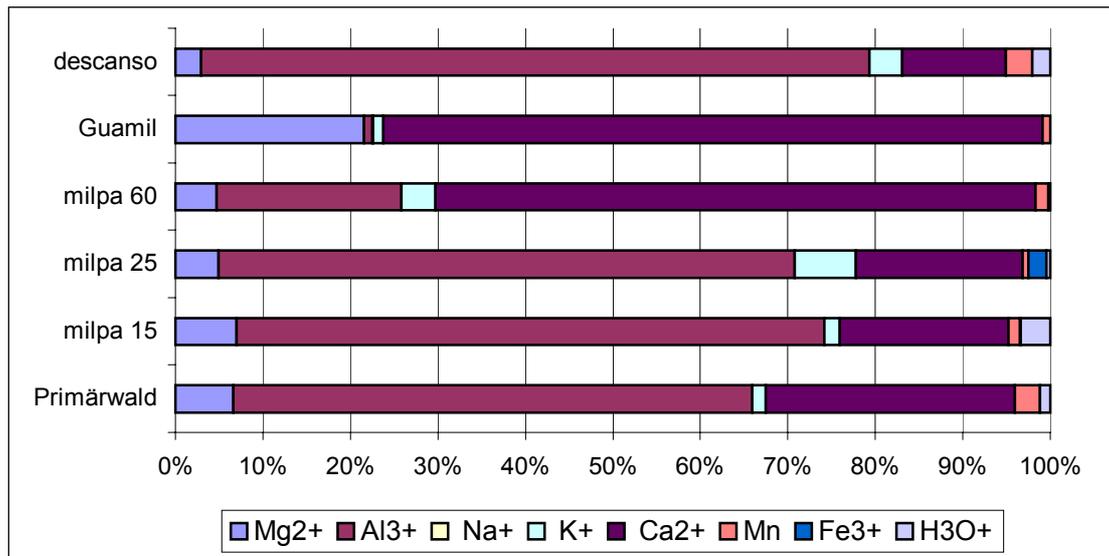


Abbildung 29: Kationenaustauschkapazität in Chicacnab (30-60 cm)

6.1.2.5 Phosphor

Die Bedeutung des Phosphors ist vor allem darin begründet, dass es essentiell am Pflanzenwachstum beteiligt ist. Eingeschränkte Phosphorverfügbarkeit bewirkt u.a. eine Hemmung der Wurzelbildung und kann in einer Kettenreaktion bis hin zu Ertragseinbußen führen. Die Aufnahme des Phosphors durch Pflanzen erfolgt als Orthophosphat. MERKEL & SPERLING (1996) betonen, dass Phosphor als Nährstoff für die Pflanze nicht durch andere Elemente ersetzbar ist.

Im Rahmen dieser Untersuchung wurde generell der Gesamtphosphorgehalt bestimmt. Darüber hinaus wurde zusätzlich von ausgewählten Bodenproben der verfügbare Phosphoranteil nach BRAY bestimmt. Die Gesamtgehalte liegen im Bereich zwischen 0 (Eutric Cambisol, *milpa*, Mestelá) und 2530 mg/kg Boden (RM-9, *milpa*, Mestelá). Dabei liegt der Mittelwert bei 690 mg/kg.

Die Abbildung 30 zeigt für den Oberboden in Chelemhá sowohl den pflanzenverfügbaren als auch den totalen Phosphorgehalt. Der Primärwald weist mit 127 ppm den höchsten pflanzenverfügbaren P-Gehalt auf. Auf den 100-jährig genutzten Flächen ohne Brand und mit Bodenschutz liegen die Werte bei 16 bzw. 24 ppm. Die Gesamtgehalte des Phosphors betragen im Primärwald 426 ppm. Auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen hingegen sind es 2130 ppm auf Flächen ohne Brand und 1800 ppm auf Flächen mit Bodenschutz (siehe auch Tabelle 60 im Anhang).

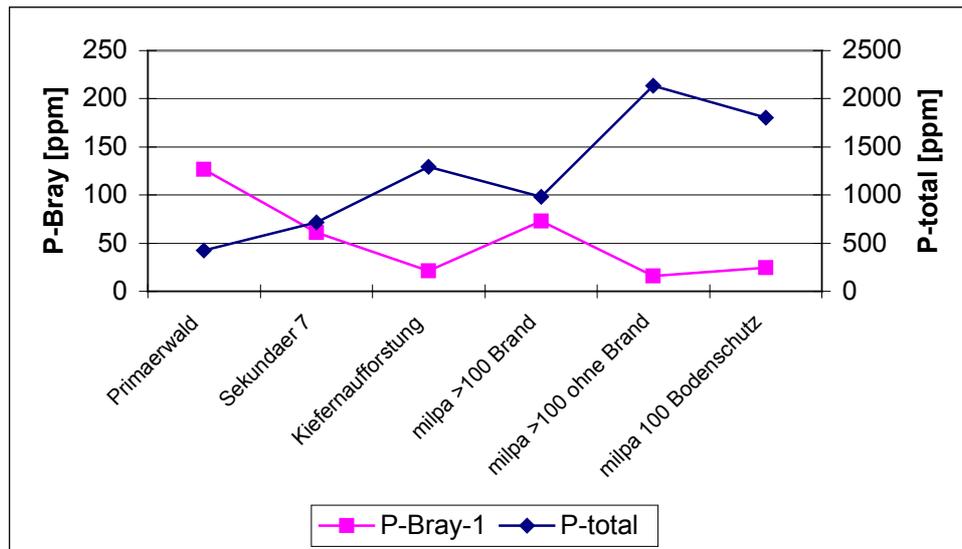


Abbildung 30: Pflanzenverfügbare und totaler Phosphorgehalt im Oberboden in Chelemhá (0-30 cm) in Abhängigkeit der Landnutzung

In Abbildung 30 wird die Gegenläufigkeit der Gehalte von pflanzenverfügbarem und totalem Phosphorgehalt deutlich. Der Primärwald weist einen sehr hohen pflanzenverfügbaren Anteil, aber gleichzeitig den geringsten totalen Phosphorgehalt auf. Besonders offensichtlich wird dies in Abbildung 31: Der Anteil von pflanzenverfügbarem Phosphor am Gesamtposphorgehalt liegt auf ungestörten Flächen bei 30 %, bei anthropogen beeinflussten Böden hingegen bei jeweils weit unter 10% Prozent. Dieses ist ein Hinweis darauf, dass auf ungestörten Flächen der organische Phosphoranteil höher ist als auf gestörten, landwirtschaftlich genutzten Böden. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der geringeren Erosionserscheinungen unter der Vegetationsbedeckung kein signifikanter Verlust von organischem Phosphor gegeben ist.

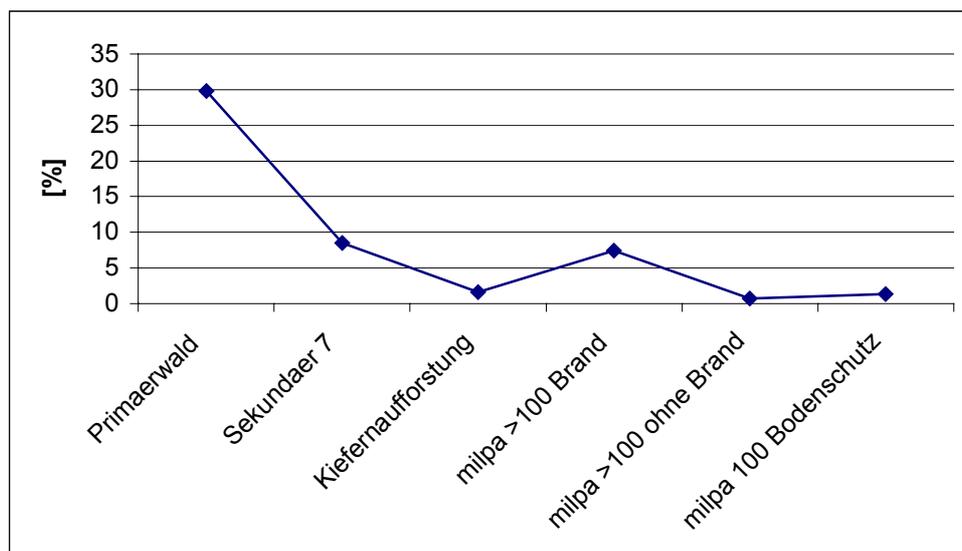


Abbildung 31: Prozentualer Anteil vom pflanzenverfügbaren am totalen Phosphorgehalt im Oberboden in Chelemhá in Abhängigkeit der Landnutzung

Die für die Oberböden beschriebene Gegenläufigkeit von P_t und P_{Bray} ist auch im Unterboden nachweisbar (Abbildung 32). Insgesamt sind im Unterboden deutlich geringere Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphor zu verzeichnen. Dieses ist im größeren Eintrag über Biomasse und Atmosphäre in den Oberböden begründet. Aufgrund der bereits stark fortgeschrittenen Tiefenverwitterung ist eine Nachlieferung aus dem Muttergestein eher unbedeutend. Die Gesamtgehalte im Unterboden schwanken zwischen 300 ppm (Primärwald) und 1625 ppm (100-jährige *milpa* ohne Brand).

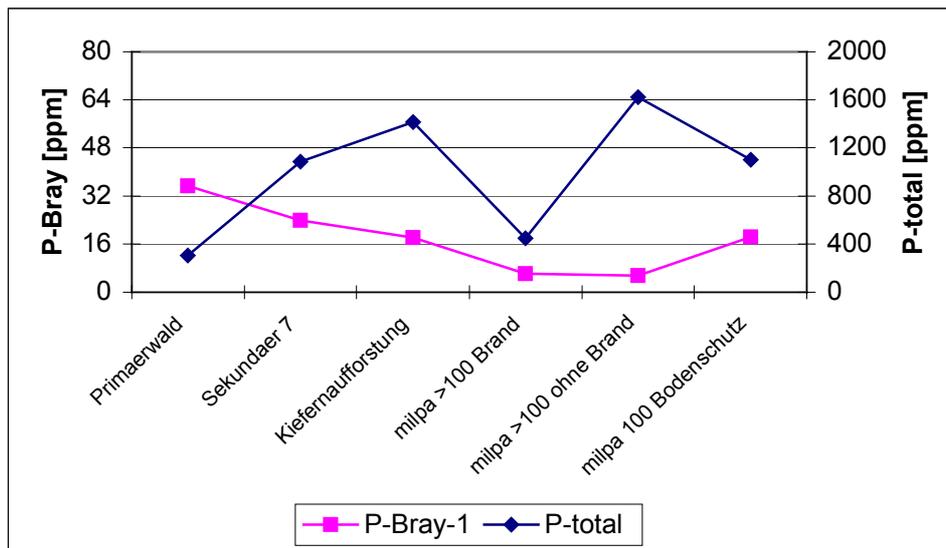


Abbildung 32: Pflanzenverfügbarer und totaler Phosphorgehalt im Unterboden (30-60 cm) in Chelemhá in Abhängigkeit der Landnutzung

Auch in Chicacnab ist im Oberboden unter Primärwald ein relativ hoher verfügbarer P_{Bray} -Gehalt nachweisbar (54 ppm) mit einem im Vergleich zu den anderen Flächen niedrigem P_t -Gehalt (420 ppm) (Abbildung 33). Auf den ungestörten Flächen sind sehr viel höhere pflanzenverfügbare Phosphorgehalte festzustellen als auf langfristig genutzten Böden. Der Verlauf der Totalgehalte ist eher indifferent.

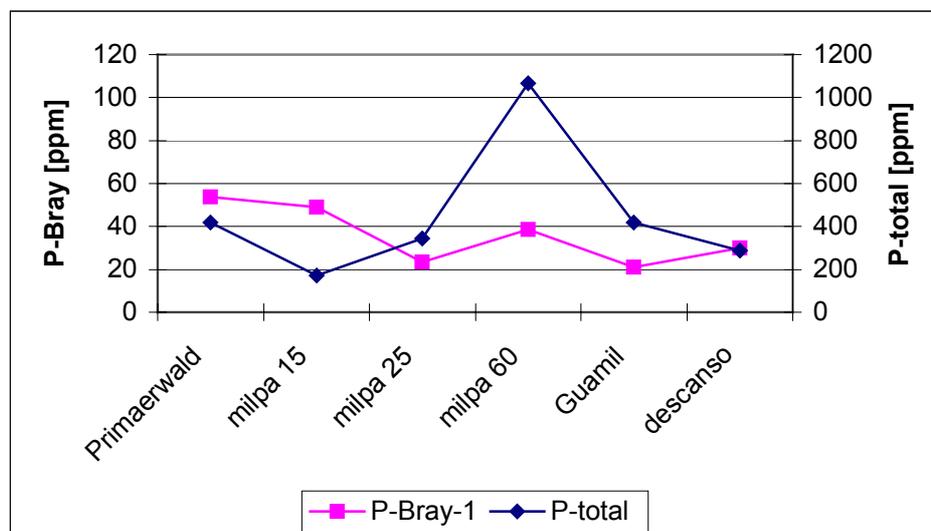


Abbildung 33: Pflanzenverfügbarer und totaler Phosphorgehalt im Oberboden (0-30 cm) in Chicacnab in Abhängigkeit der Landnutzung

Wie auch in Chelemhá sind die Werte von Chicacnab im Unterboden (30 bis 60 cm, Abbildung 34) niedriger als die Werte im Oberboden. Im Primärwald liegen die Werte bei 10 ppm P_{Bray} und bei 160 ppm P_{Gesamt} . Nach 60-jähriger Bewirtschaftung durch das *milpa*-System liegt der verfügbare Gehalt bei 12 ppm und der Gesamtgehalt bei 944 mg/kg, der damit deutlich höher angesiedelt ist als in den Böden der zu vergleichenden Landnutzungstypen. Bei den P_{Bray} -Gehalten ist eine deutliche Zunahme auf den beiden Bracheflächen zu verzeichnen (47 und 88 ppm). Der Anstieg im Unterboden auf der *Guamil*-Fläche dürfte durch den fossilen Ah-Horizontes in 50 cm Tiefe begründet sein.

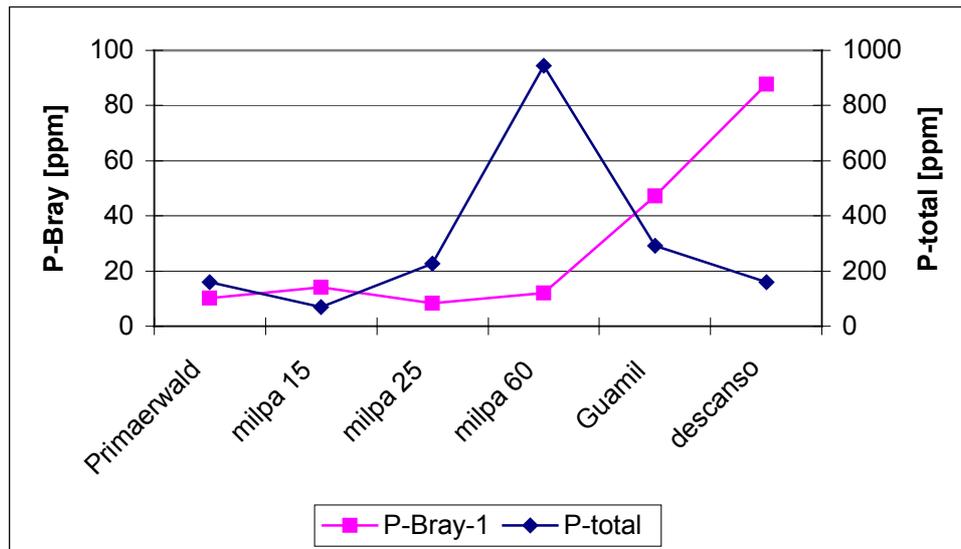


Abbildung 34: Pflanzenverfügbarer und totaler Phosphorgehalt im Unterboden (30-60 cm) in Chicacnab in Abhängigkeit der Landnutzung

LANDON (1991) klassifiziert Böden unter 15 ppm P_{Bray} als niedrige Werte und empfiehlt Düngerapplikationen. Bei Werten zwischen 15 und 50 ppm geht er von einem mittleren verfügbarem Phosphorgehalt aus und über 50 ppm von einem hohen Gehalt. Diese Zahlen sind ein Indiz für die zum Teil relativ schlechte Verfügbarkeit von Phosphor in dieser Region (vgl. Abbildungen 30 und 32 bis 34).

Die Abbildung 31 hat bereits gezeigt, dass das Verhältnis von P_{Bray} zu P_{Gesamt} einen aussagekräftigen Quotienten bildet. In der folgenden Abbildung 35 ist dieser Zusammenhang für alle Böden dargestellt, für die sowohl die verfügbaren Phosphordaten als auch die Gesamtwerte vorliegen.

Der Gesamtgehalt liegt naturbedingt grundsätzlich über dem verfügbaren Gehalt. Der Anteil von P_{Bray} an P-Total beträgt zwischen 0,4% (Unterboden, *milpa*100, ohne Brand) und 85,5 % im Primärwald in Chicacnab bzw. 99% im Primärwald in Chelemhá. Grundsätzlich ist der P_{Bray} -Anteil auf den ungestörten Flächen höher als auf gestörten unter langjähriger Nutzung (siehe auch Tabelle 60 im Anhang).

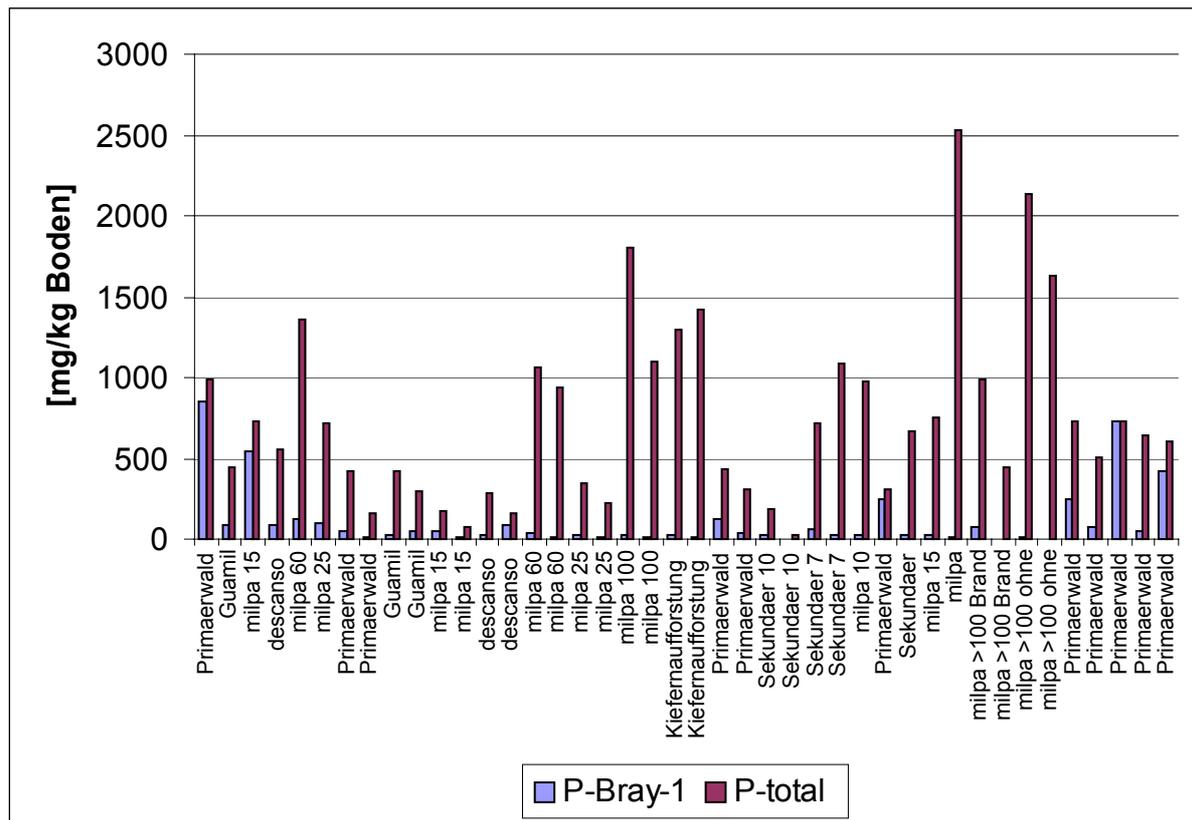


Abbildung 35: Anteile von verfügbarem Phosphor und Gesamtgehalt Phosphor in mg/kg Boden

Für die landwirtschaftliche Produktion ist der Phosphorgehalt von Bedeutung, da einem potenziellen Mangel an Phosphor durch Düngegaben entgegengewirkt werden kann. Die Analyseergebnisse werden in Elementform angegeben. Bei Düngerdeklarationen verwendet man hingegen die „Düngereinheiten“ P_2O_5 und K_2O , wobei $1 \text{ mg P} = 2.3 \text{ mg } P_2O_5$ und $1 \text{ mg K} = 1.2 \text{ K}_2O$ entspricht (http://www.hauert.com/profi/Sup_Veg_Basis_d.pdf). Die Universität Hohenheim hat diesbezüglich Gehaltsklassen für Phosphor (P_2O_5), Kalium (K_2O) und Magnesium in mineralischen Ackerböden aufgrund der Bodenuntersuchung in mg/100g Boden herausgegeben (Tabelle 18). Mit Hilfe dieser Gehaltsklassen ist eine Bewertung möglich. Darauf basierend können Düngevorschläge erarbeitet werden.

Aus diesem Bewertungsschema lässt sich für die vorliegenden Böden ableiten, dass die Phosphorversorgung zum Teil sehr schlecht ist. So weisen die Böden unter landwirtschaftlicher Nutzung in Chelemhá sehr niedrige Phosphorgehalte der Klasse A auf. Der Boden kann den Bedarf der Pflanzen mit dem betreffenden Nährstoff sehr wahrscheinlich nicht abdecken. Eine Düngung scheint demnach dringend ratsam. Vergleichsdaten hinsichtlich einer Klassifizierung beziehungsweise Bewertung von pflanzenverfügbarem Phosphor betreffend der Tropen liegen leider nicht vor. Eine Ausnahme bildet nur ZUBILLAGA (o.J.). Auch hier werden für die in seiner Untersuchung gemessenen Gehalte an pflanzenverfügbarem P_{Bray} Düngegaben von P_2O_5 empfohlen, um höhere Maiserträge zu gewährleisten (Tabelle 19).

Gehalts- klasse	P ₂ O ₅	K ₂ O			Mg		
		Böden			Böden		
		leicht	mittel	schwer	leicht	mittel	schwer
A	< 6	< 5	< 7	< 11	< 3	< 4	< 6
B	6 – 12	5 – 9	7 – 14	11 – 20	3 – 4	4 – 7	6 – 10
C	13 – 24	10 – 15	15 – 25	21 – 30	5 – 9	8 – 13	11 – 15
D	25 – 34	16 – 25	26 – 35	31 – 40	10 – 12	14 – 18	16 – 25
E	> 34	> 25	> 35	> 40	> 12	> 18	> 25

Tabelle 18: Gehaltsklassen für Phosphor (P₂O₅), Kalium (K₂O) und Magnesium in mineralischen Ackerböden aufgrund der Bodenuntersuchung in mg/100g Boden (LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE CHEMIE 2002)

Ertrag	Konzentration von P-verfügbar im Boden (ppm)						
	< 5	5-7	7-9	9-11	11-13	13-16	16-20
t/ha	kg P ₂ O ₅ /ha						
5	59	48	43	39	35	30	-
6	65	54	50	45	41	37	26
7	71	60	56	51	47	43	32
8	77	66	62	57	53	49	38
9	83	72	68	63	59	55	44
10	89	78	74	70	65	61	50
11	95	84	80	76	71	67	56
12	101	90	86	82	77	73	62
13	107	97	92	88	83	79	68
14	114	103	98	94	90	85	74

Tabelle 19: Vorgeschlagene Düngermengen aufgrund der P-Bray-1-Gehalte und erwartete Erträge des Maisanbaus (zitiert nach ZUBILLAGA (o.J.))

Für die seit über hundert Jahren in Nutzung stehende *milpa* ohne Brand (Probe 5900, Tabelle 60) wird somit eine Düngung zwischen 30 und 85 kg P₂O₅/ha empfohlen (Tabelle 19), die einen Maisertrag von 5 bis 14 t/ha erwarten ließe. Dabei ist allerdings zu beachten, dass der Ertrag auch von anderen Faktoren wie z.B. Textur, organischer Substanz, pH, Temperatur und Feuchte abhängt. Außerdem spielen Bodenbearbeitung und Art der Düngerapplikation eine wichtige Rolle.

Die LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE CHEMIE (2002) empfiehlt auch Wirtschaftsdünger in Form von Rindermist, Pferdemist, Hühnerkot und Kompost, da durchschnittlich hohe Prozentsätze an Nährstoffen in der Frischmasse enthalten sind. Diese Wirtschaftsdünger könnten auch im Untersuchungsgebiet zum Einsatz kommen und sind aufgrund der lokalen Disponibilität nachdrücklich für die Bauern zu empfehlen.

6.1.3 Bodenbiologische Parameter

Zur Beschreibung des bodenbiologischen Zustandes und zur Bestimmung einer potenziellen bodenbiologischen Degradation, wurde der Zelluloseabbau quantifiziert. Hauptverantwortlich für den Zelluloseabbau sind Bakterien, Actinomyceten und Mikropilze. Mit der Gesamtaktivität dieser Organismengruppen lässt sich das biotische Potenzial der jeweiligen Standorte angeben.

MOSIMANN (1985) und HEEB (1991) beschreiben die biologische Abbaupotenzialität als „geoökologischen Kennwert“ bzw. „Integralwert“ im Sinne der Kennzeichnung einer Teilfunktion innerhalb des Subsystems „Bodenorganismen“. Für den Alpenraum beschreibt MOSIMANN (1985) die Bodenfeuchte und die Bodenwärme als begrenzende Standortfaktoren hinsichtlich der biologischen Abbaupotenzialität. Dieses Verhalten lässt sich auch auf tropische Regionen übertragen und greift insbesondere in den Bergnebelwäldern Guatemalas. Nach MOSIMANN sind die höchsten Abbauraten auf schwach bis mäßig feuchten, bodenwarmen Standorten vorzufinden, die niedrigsten bei zunehmender Feuchte und abnehmender Bodenwärme. Damit lassen sich auch die niedrigen Abbauraten im guatemalteckischen Untersuchungsgebiet erklären.

Zellulose wird vor allem von einer großen Anzahl von Pilzen und Bakterien zersetzt. Nach BECK (1968) sind in stark sauren Böden vor allem Pilze an dem Abbau der Zellulose beteiligt. Hauptbestandteile von Pflanzenrückständen wie Stroh, Streu, Blätter, Wurzeln und Holz sind Zellulose, Hemicellulose, Lignin und Proteine (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1998). Zellulosestreifenanalysen können als ein geeignetes Instrument angesehen werden, das einen Ausschnitt der bodenbiologischen Gesamtaktivität repräsentiert (SCHINNER 1986 und MOSIMANN 1985). Zellulose und Hemicellulose abbauende Bakterien und Actinomyceten sind eine Voraussetzung für die Bildung von Huminsäuren, die eine wichtige Voraussetzung für dauernde Bodenfruchtbarkeit bilden. Der Zellulose-Abbautest mit standardisiertem Substrat stellt somit eine sinnvolle Methode dar, um diesen Abbauvorgang zu erfassen.

Der Abbau des Litterfalls nimmt in ungestörten Waldökosystemen eine wichtige funktionale Größe ein, die Aufschluss über den Stoffumsatz und damit über den biologischen Gesamtzustand in diesem Ökosystem gibt. Für einen in Ecuador gelegenen tropischen Tieflandsregenwald wurden jährlich ca. 18 t Blätter, Äste/Zweige, Früchte und Blüten auf einen Hektar Waldfläche als Gesamtlittereintrag bestimmt (LANFER 2000, 2003). Für Guatemala werden etwas geringere Littereinträge ermittelt: zwischen 9,1 und 11,5 t/ha/Jahr im östlichen Hochland Guatemalas (KUNKEL-WESTPHAL & KUNKEL 1979) sowie maximal 10 t/ha/Jahr in einem 14-jährigen Sekundärwald im Tiefland Ost-Guatemalas (EWEL 1976). Die Littereinträge variieren regional sehr stark. Das Laub wird in einem komplexen Vorgang durch Bodenorganismen in seine Grundbestandteile zerlegt, die dann wieder als Nährstoffe für das Pflanzenwachstum zur Verfügung stehen. Wird dieser Vorgang durch Belastungen gestört, hat dies letztendlich Einfluss auf das Funktionieren des gesamten Ökosystems.

Abbildung 36 verdeutlicht die biologische Aktivität in verschiedenen Landnutzungssystemen in Chelemhá. Der Primärwald hat zu allen drei Zeiträumen die niedrigste Abbaurate im Vergleich zum Sekundärwald und den landwirtschaftlich genutzten *milpa*-Flächen. Für den Zeitraum März bis Mai 2002 (8 Wochen) beträgt der Zelluloseabbau 4,8 mg/d. Für den gleichen Zeitraum liegen die Abbauraten unter Sekundärwald bei 38,6 mg/d, unter *milpa* mit Bodenschutzmaßnahmen bei 38,3 mg/d und unter *milpa* ohne Bodenschutzmaßnahmen bei 18,9 mg/d.

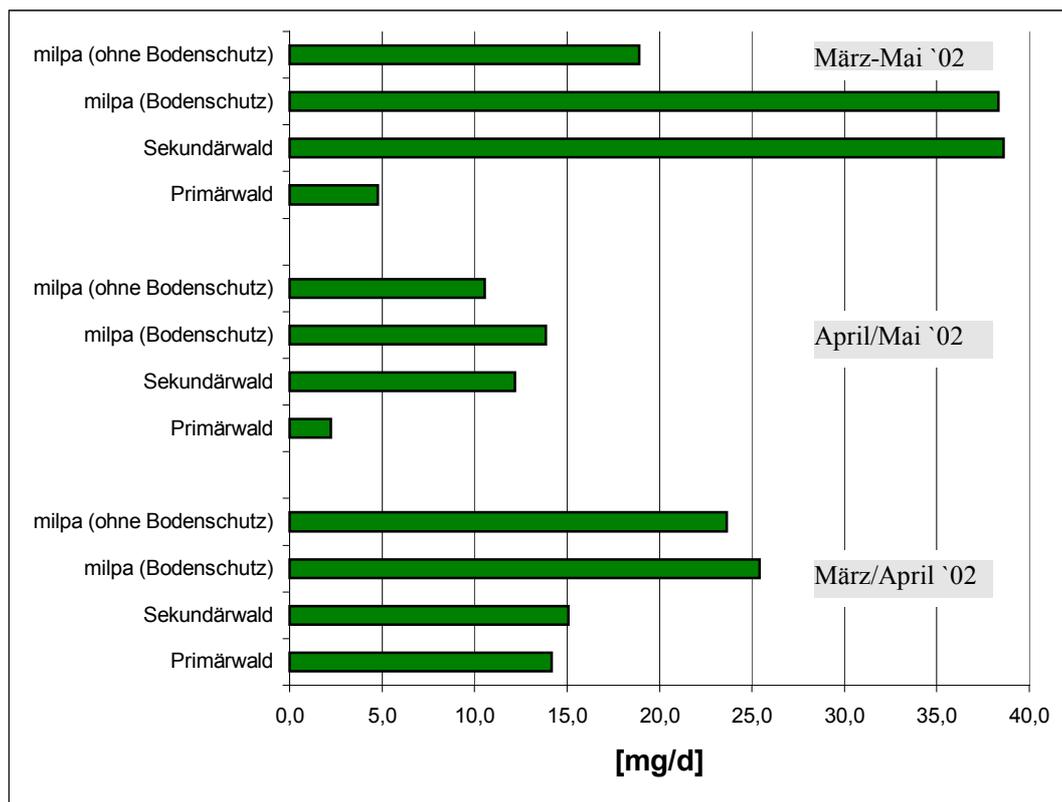


Abbildung 36: Zelluloseabbau [mg/d] in verschiedenen Landnutzungssystemen in Chelemhá

Bei allen vier Testflächen war die biologische Aktivität im Zeitraum März/April (4 Wochen) höher als im darauf folgenden Zeitraum April/Mai (ebenfalls 4 Wochen). Bezüglich des langen Zeitraums von 8 Wochen (März bis Mai 2002) fällt auf, dass im Sekundärwald und im *milpa*-System mit Bodenschutz die Abbaurate mit 38 mg/d sehr viel größer ist als während der beiden Vierwochenzeiträume. Hier betragen die Abbauraten für den Sekundärwald 15,1 (März/April) und 12,2 mg/d (April/Mai), für das *milpa*-System mit Bodenschutz 25,4 (März/April) und 13,9 mg/d (April/Mai).

Um gegebenenfalls Zusammenhänge zwischen dem Zelluloseabbau und anderen Parametern zu erkennen, erfolgt die Darstellung der Ergebnisse in folgenden Kombinationen: Zelluloseabbau für den Gesamtzeitraum [mg/d] (Abbildung 36), Zelluloseabbau und pH-Wert (Abbildung 37), Zelluloseabbau und Kohlenstoff (Abbildung 38), Zelluloseabbau und N-Gehalt (Abbildung 39), Zelluloseabbau und Al-Sättigung (Abbildung 40, Aluminium wirkt grundsätzlich toxisch, wodurch die Aktivität der Mikroorganismen gehemmt wird, SCHEFFER

& SCHACHTSCHABEL 1998), Zelluloseabbau und C/N-Verhältnis (Abbildung 41), Zelluloseabbau und Bodenfeuchte/Bodentemperatur (Abbildungen 42 bis 45).

Die biologische Aktivität steht demnach vor allem in Zusammenhang mit dem C-Gehalt, der Al-Sättigung sowie dem C/N-Verhältnis (Abbildungen 38, 40, 41). Je höher die Al-Sättigung, desto geringer ist der tägliche Abbau der Zellulose (Abbildung 40), was auf eine hemmende Wirkung der Aktivität der Mikroorganismen zurückzuführen ist. Eine Folge aus dieser niedrigen Abbaurate unter Primärwald und *milpa* ohne Bodenschutzmaßnahme ist der höhere Kohlenstoffgehalt im Vergleich zum Sekundärwald und *milpa* mit Bodenschutz. Daraus resultiert dann das weite C/N-Verhältnis: je geringer die Abbaurate desto größer das C/N-Verhältnis (Abbildung 41).

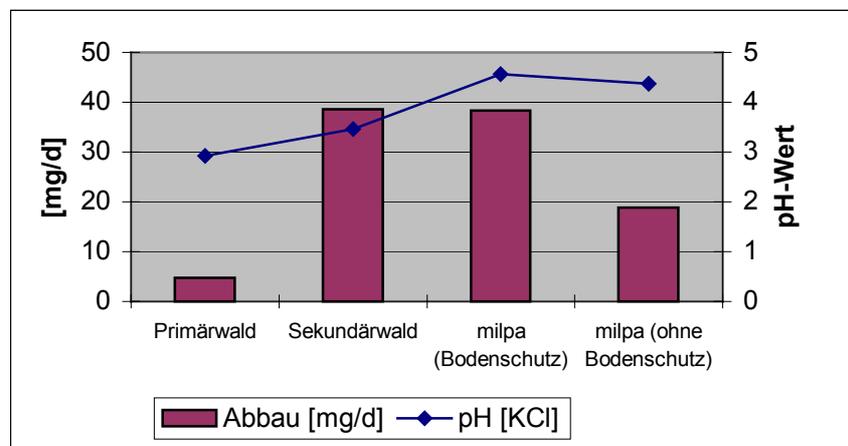


Abbildung 37: Zelluloseabbau und pH-Wert im Boden

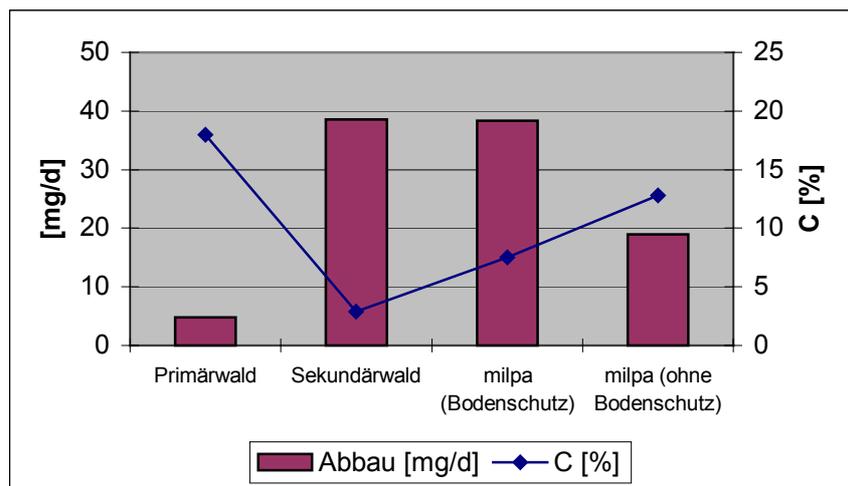


Abbildung 38: Zelluloseabbau und Kohlenstoffgehalt

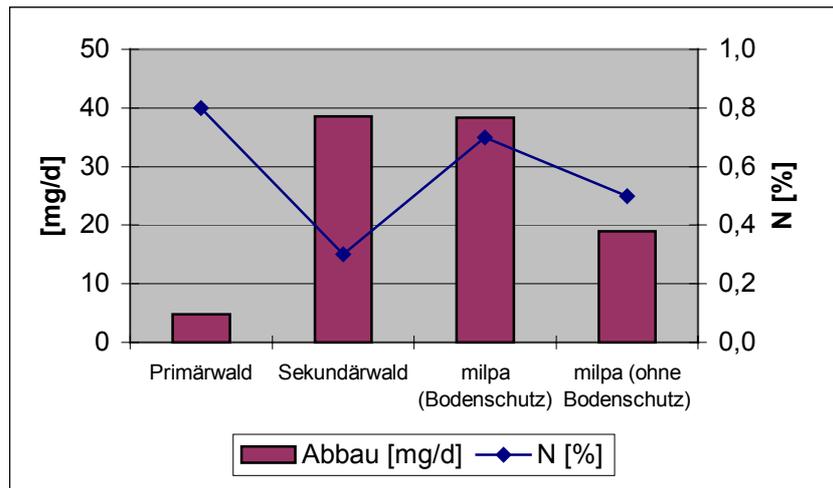


Abbildung 39: Zelluloseabbau und Stickstoffgehalt

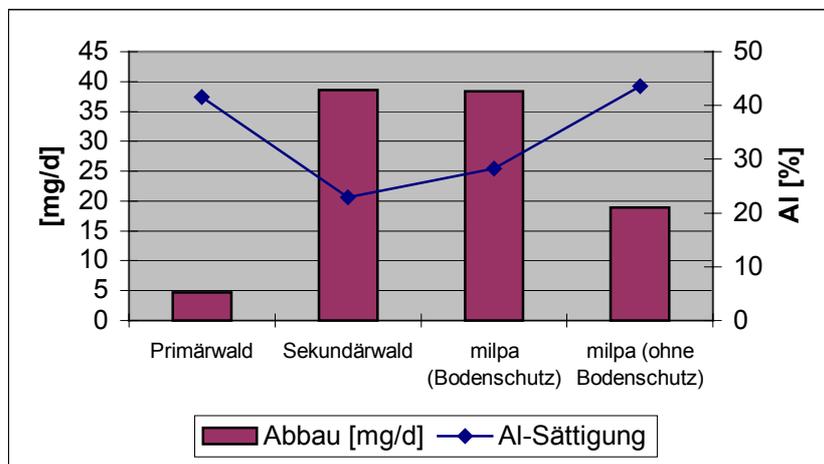


Abbildung 40: Zelluloseabbau und Aluminium-Sättigung der KAK_{eff} .

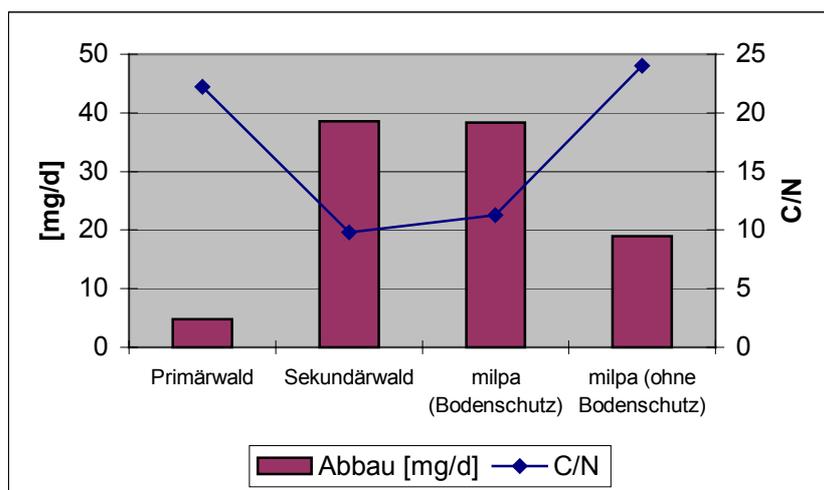


Abbildung 41: Zelluloseabbau und C/N-Verhältnis

Die Abbauraten in den unterschiedlichen Habitaten sind in den Abbildungen 42 bis 45 ebenfalls für den Zeitraum März bis Mai 2002 dargestellt und mit den Daten der Bodentemperaturen und Bodenfeuchtegehalte vom 14.04.2002 und 12.05.2002 gemeinsam abgebildet. Es zeigt sich eine Abhängigkeit von Temperatur, Bodenfeuchte und biologischer Aktivität, beispielsweise ist die Abbaurate unter Primärwald am geringsten bei gleichzeitig niedrigsten Bodentemperaturen und vergleichsweise hoher Bodenfeuchte. Dieses Verhalten deckt sich mit den Aussagen von MOSIMANN (1985).

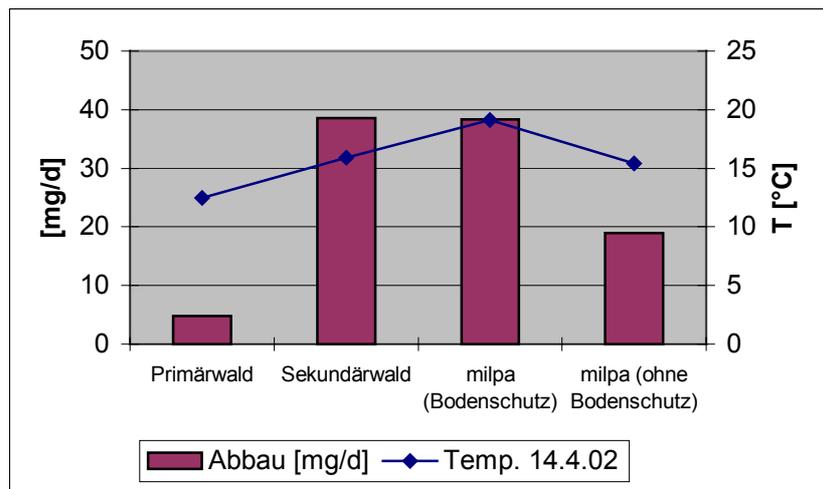


Abbildung 42: Zelluloseabbau und Bodentemperatur 14.04.02

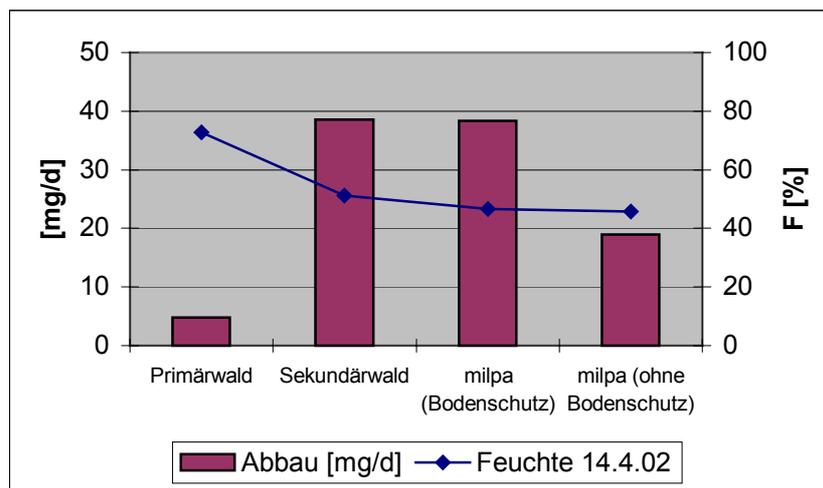


Abbildung 43: Zelluloseabbau und Bodenfeuchte 14.04.02

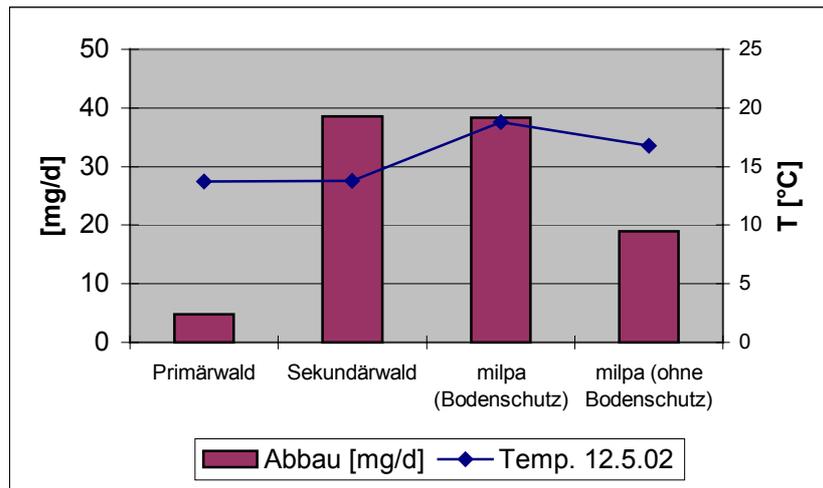


Abbildung 44: Zelluloseabbau und Bodentemperatur 12.05.02

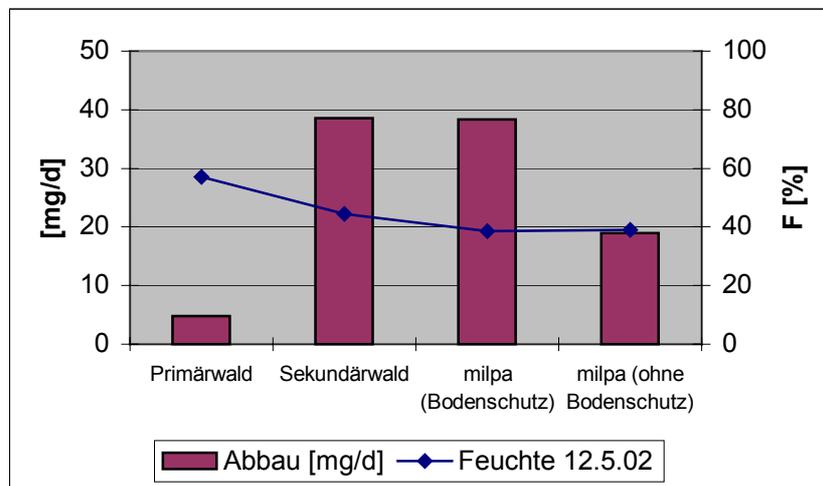


Abbildung 45: Zelluloseabbau und Bodenfeuchte 12.05.02

6.1.4 Bodenklassifikation der vorkommenden Bodentypen

Das Untersuchungsgebiet stellt bezüglich der Verteilung von Bodentypen einen recht homogenen Raum dar. Es konnte keine signifikante Reliefabhängigkeit abgeleitet werden. Es liegen ausschließlich tief verwitterte Braunerden vor, die sich hauptsächlich in der Basensättigung, dem Gehalt der organischen Substanz und der effektiven Kationenaustauschkapazität unterscheiden. Die Klassifizierung der Böden erfolgte nach der US Soil Taxonomy des U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (o.J.) und der SOIL SURVEY STAFF (EBENFALLS USDA) (1988). Aufgrund der räumlichen Nähe der Vereinigten Staaten hat sich in Guatemala die US Soil Taxonomy durchgesetzt, trotzdem werden an dieser Stelle zu Vergleichszwecken die Böden auch nach der FAO-UNESCO (1990) klassifiziert (s.a. BAILLY & NIEDER 1997). Demnach wurden in dem Untersuchungsgebiet insgesamt drei verschiedene Bodentypen festgestellt, die sich nach USDA und FAO jeweils wie folgt zuordnen lassen:

USDA

-  Oxic Humitropepts
-  Typic Eutropepts
-  Oxic Dystropepts

FAO/UNESCO

-  FERRALIC Cambisol (CMo)
-  EUTRIC Cambisol (CMe)
-  DYSTRIC Cambisol (CMd)

Die vorliegenden Böden sind nach der FAO/UNESCO-Bodenklassifizierung als Cambisole einzustufen. Cambisole sind Böden mit einem Cambic B-Horizont, also Braunerden. FERRALIC Cambisole sind Braunerden mit einem Ochric A-Horizont und einem Cambic B-Horizont, der Ferralic Eigenschaften besitzt. Dem Eutric und Dystric Cambisol fehlen diese Ferralic Eigenschaften, womit die Basensättigung ausschlaggebender Faktor für die Klassifizierung wird. Liegt die Basensättigung über 50%, so herrscht eine basenreiche Braunerde vor (Eutric Cambisol). Ist die Basensättigung geringer als 50%, so liegt ein Dystric Cambisol vor.

Ein vergleichbares Einteilungsverfahren beschreibt die Klassifizierung nach USDA. Aufgrund des cambic-Horizonts liegen Inceptisole vor. Charakteristisch für das Untersuchungsgebiet sind die Tropepts. Aufgrund ihres hohen Anteils an organischer Substanz lassen sich einige der Böden als Humitropepts klassifizieren. Die Humitropepts sind nach ihrer Definition sauer und haben in der Regel ein udic Feuchteregime. Sie haben zahlreiche Gemeinsamkeiten mit den Dystropepts, mit Ausnahme des hohen Anteils an organischer Substanz. Die isothermischen Temperaturen machen die meisten Humitropepts für zahlreiche Nutz- und Kulturpflanzen gut nutzbar. So sind nach VAN WAMBEKE 1992 sowohl Tee (*Camellia sinensis* L.) und Kaffee Arabica (*Coffea arabica* L.) als auch die Kartoffel (*Solanum tuberosum*) typische Kulturen für Humitropepts. Das agrarökologische Potenzial der Region ist demzufolge als hoch einzustufen.

Andere vorkommende Tropepts sind die Dystropepts und Eutropepts. Charakteristisch für die Dystropepts ist die Basensättigung von weniger als 50% im Unterboden. Sie besitzen normalerweise noch verwitterbare Minerale, welche unter humiden Bedingungen Nährstoffe und austauschbares Aluminium freisetzen (VAN WAMBEKE 1992). Die Eutropepts hingegen besitzen eine Basensättigung von mindestens 50%.

6.1.5 Bodenkundliche Besonderheiten

Während der Feldaufnahmen und der anschließenden Laboranalytik haben sich einige strukturelle Besonderheiten hinsichtlich der Pedologie im Untersuchungsgebiet herausgestellt. Dazu gehören die sehr schnelle neue Bodenbildung sowie Subrosionserscheinungen im Unterboden. Beide Aspekte werden im Folgenden genauer betrachtet.

6.1.5.1 Bodengenese und Bodenumbildung

Das Leitprofil 2 besitzt die folgende Horizontabfolge: Ah – M – fAh – fAhBv – fBv. Dieses Leitprofil zeichnet sich dadurch aus, dass in 50 cm Tiefe ein fossiler Ah-Horizont vorliegt. Seit insgesamt 80 Jahren wird in dieser Region der traditionelle *milpa*-Anbau von Mais betrieben. Die spezifische Fläche wird seit 28 Jahren landwirtschaftlich genutzt und war vorher ausschließlich von primärem Bergnebelwald bestanden. Anhand des Bodenprofils lassen sich nun Rückschlüsse auf die Bodenumbildung ziehen. Es stellt sich die Frage, inwieweit anthropogene oder natürliche Prozesse aus älteren Zeiten dazu geführt haben, dass eine derartige kolluviale Umlagerung stattfand.

Die Tatsache, dass die vorgefundenen Baumrinden im fossilen Horizont nicht verkohlt sind, lässt auf natürliche Umlagerungsprozesse schließen. Die ^{14}C sowie ^{13}C -Untersuchungen am Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (Datierungen und Isotopenhydrologie, Hannover) ergaben ein Alter von 50 ± 45 Jahren (Referenzjahr AD 1950) [Tabelle 20]. Es ist also ein sehr junger fossiler Ah-Horizont aus dem vorherigen Jahrhundert. Daraus ist zu folgern, dass eine sehr schnelle Bodenneubildung stattfindet. Die 48 cm der Ah und M-Horizonte haben sich innerhalb von weniger als 150 Jahren neu gebildet. Die hohen Niederschläge scheinen zu der starken und vor allem schnellen Verwitterung und Bodenbildung in hohem Maß beizutragen. Die Regenerierung der Böden nach natürlichen Störaktivitäten wie Hangrutschungen wird als hoch eingestuft.

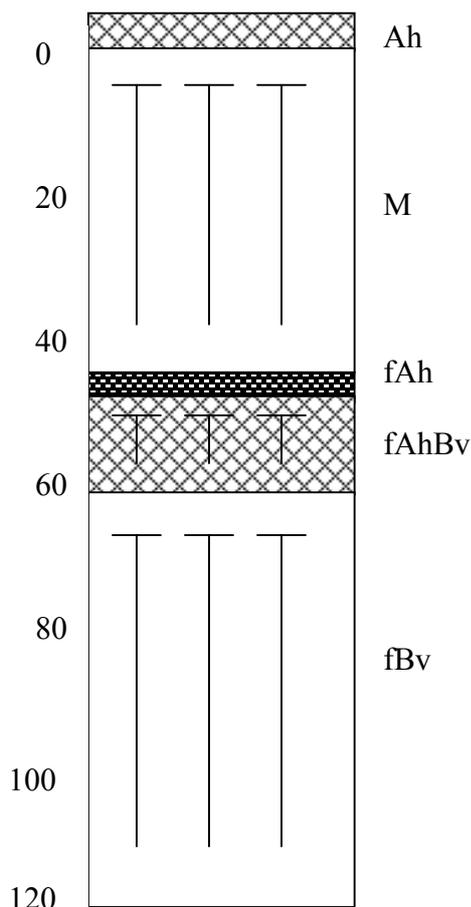
Nach WILLKOMM (1990) ist der nach der Radiokohlenstoffdatierung bestimmte Jahrgang kein exaktes Alter, sondern gibt nur einen Altersbereich an. Demnach liegt das tatsächliche Probenalter mit 68% Wahrscheinlichkeit innerhalb der Standardabweichung von in diesem Falle 45 Jahren. Dennoch liefert der Wert ein aussagekräftiges Ergebnis, da der fossile Ah-Horizont auf jeden Fall als sehr jung eingeordnet werden kann. Zudem ist anzunehmen, dass aufgrund von Huminstoffeinlagerungen oder anderen Fremdstoffen bei den hohen jährlichen Niederschlägen von ca. 5.000 mm ein etwas jüngeres Alter bestimmt wurde als tatsächlich vorliegt. Unter diesem Gesichtspunkt ergibt sich ein Mindestalter von 100 Jahren. Nach GEYH (1980) und GEYH & SCHLEICHER (1990) lassen sich solche Kontaminationen allochthonen Kohlenstoffs durch eine manuelle Vorbehandlung normalerweise unter 3% senken. Bei sehr alten Proben kann es somit zu einem recht hohen absoluten Fehler kommen. Im vorliegenden Fall ist aufgrund des jungen Alters eher von einem geringen Fehler auszugehen.

Die Horizontierung weist einen deutlichen Anstieg des C-Gehaltes im fAh auf (siehe Abbildung 46, Foto 1 und Tabelle 21). Im Ah-Horizont beträgt der C-Gehalt 6,3%, im M-Horizont nur 2,0%. Darunter in 50 cm Tiefe steigt der C-Gehalt auf 8,0% im fAh an und nimmt mit der Tiefe auf 4,0% im fAhBv und 0,8% im fBv ab. Dieser Anstieg der Gehalte im fossilen Ah ist auch bei vielen weiteren Parametern wie Stickstoff, KAK_{eff} , Leitfähigkeit und Totalgehalte der Nährstoffe erkennbar (Tabelle 21). Die effektive Kationenaustauschkapazität beträgt im Ah-Horizont 14,6 mmol/100g Boden, im fAh-Horizont hingegen 20,8 mmol/100g Boden.

Hv	Probenbezeichnung	Material	Tiefe m	$\delta^{13}\text{C}$ ‰	^{14}C -Alter Jahre v. h.*	kalibriertes Zeitinterv. cal ...
24721	2 – 3, Nr. 5802, Gö 7	Baumrinde	0,48-0,52	-27,9	50 ± 45	AD 1895 – 1955

Tabelle 20: Ergebnisse der ^{14}C -Bestimmung

* Referenzjahr AD 1950



Tiefe [cm]	pH (CaCl ₂)	Lf. [μS/cm]	C _t [%]	C/N	KAK_{eff} mmol/100g Boden]
0-5	5,38	269,0	6,3	12,1	14,6
5-48	5,31	61,0	2,0	9,5	6,0
48-52	5,81	95,1	8,0	13,9	20,8
52-65	5,81	76,5	4,0	11,3	10,6
65-120	5,49	37,0	0,8	7,7	4,2

Tabelle 21: Bodenparameter im fossilen Ah-Horizont des Leitprofils 2



Abbildung 46/Foto 1: Leitprofil 2 mit fossilem Ah-Horizont in 48-52 cm Tiefe

Der 5 cm mächtige Ah-Horizont weist einen C-Gehalt von 6,3% auf. Legt man die gemessene Lagerungsdichte von 1 g/cm^3 zugrunde, so ergibt sich auf 100 Jahre gesehen ein jährlicher C_t -Eintrag von 31,5 g pro Jahr.

6.1.5.2 Subrosionserscheinungen

Eine weitere bodenkundliche Besonderheit in der Untersuchungsregion sind die Subrosionserscheinungen. Aufgrund der Karsterscheinungen und hohen Niederschläge bilden sich zahlreiche unterirdische Hohlformen, wie man im Leitprofil 5 sehr gut erkennen kann (Foto 2, Tabelle 36 im Anhang).

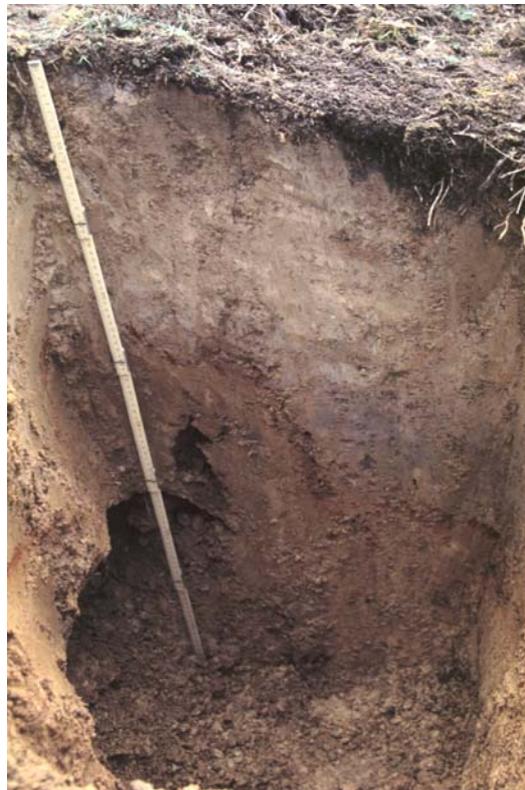


Foto 2: Subrosion im Leitprofil 5

Generell sind im Untersuchungsgebiet zahlreiche Karstformen vorzufinden, wie Dolinen, Tropfsteinhöhlen, Karstschwinden, Ponore etc., die allesamt ein hohes ökotouristisches Potenzial aufweisen. Weiterführende Untersuchungen zu den geologischen Voraussetzungen für die Bodenbildung liegen von CACAO (2003) vor.

6.2 Waldkonversion

MYERS & TUCKER (1987) weisen auf die dramatische Beschleunigung des Abholzungsprozesses in Zentralamerika in den letzten drei Jahrhunderten hin. Zu Beginn des frühen 16. Jahrhunderts gehören die lateinamerikanischen Wälder zu den botanisch vielfältigsten der Erde, vergleichbar mit den pleistozänen Refugien des Amazonastieflandes.

HOUGHTON, LEFKOWITZ & SKOLE (1991) sowie HOUGHTON, SKOLE & LEFKOWITZ (1991) ermittelten aufgrund von historischen Quellen die Landschaftsveränderungen Lateinamerikas zwischen 1850 und 1985. Sie kommen zu dem Resultat, dass vor 1940 die Fläche unter *shifting cultivation* als konstant angesehen werden kann. Erst zwischen 1940 und 1985 kam es zu einer deutlichen Zunahme. Zwischen 1850 und 1985 wurden 28% der 1850 vorhandenen Waldfläche durch anthropogen genutzte Flächen ersetzt. 44% der Entwaldung sind durch die Ausweitung von Weidelandflächen erklärbar, 25% durch Umwandlung in Agrarland, 20% durch degradiertes Land und nur 10% durch *shifting cultivation*.

Dies wird auch durch das zentrale Problem der Landverteilung in Guatemala (COLCHESTER 1991) verdeutlicht: 2,2% der Bevölkerung besitzen 70% der landwirtschaftlichen Flächen. In diesem Zusammenhang muss auch die „*hamburger connection*“ genannt werden. Ein Phänomen, das den auf Konsum ausgerichteten Lebensstil der Nordamerikaner in Form von *Fast-Food* mit der daraus resultierenden Ausdehnung der Viehwirtschaft und folgenden Abholzung in Zentralamerika in Verbindung brachte (MYERS 1981).

6.2.1 Waldkonversion in Guatemala

Die Waldkonversion in Guatemala hat eine lange Geschichte. Um dieser Entwicklung entgegenzuwirken gab es bereits 1699 und 1701 per königlichem Dekret für die Region Antigua ein Verbot, die steilen Hänge aufgrund der zu erwarteten Degradationserscheinungen zu bewirtschaften (VEBLEN 1976). Diese sind als erste ‚*Naturschutzgesetze*‘ in Lateinamerika zu bewerten.

Die naturräumliche Lage Guatemalas hat dazu geführt, dass sich nach MYERS et al. (2000) im Hinblick auf die Artenvielfalt ein *hotspot* mit besonders hoher Schutzpriorität entwickelt hat (s.a. SCHULZE 2000). NATIONS et al. (1989) sowie VILLAR ANLEU (1998a, 1998b) weisen dabei auf die Korridorlage zwischen den beiden großen kontinentalen Landmassen Nord- und Südamerikas sowie zwischen Pazifik- und Atlantikküste hin, welche auf engstem Raum eine sehr große Diversität von Flora und Fauna ergeben hat. Die kleinräumigen Einheiten haben – abhängig von der starken Reliefenergie und der damit einhergehenden klimatischen Unterschiede – weiterhin eine große ökosystemare Vielfalt entstehen lassen (HOLDRIDGE 1967, DE LA CRUZ 1982). Eine Besonderheit stellen die tropischen Bergnebelwälder Guatemalas dar, die DINERSTEIN et al. (1995) als bioregionale Einzigartigkeit hervorheben und als gefährdet einstufen.

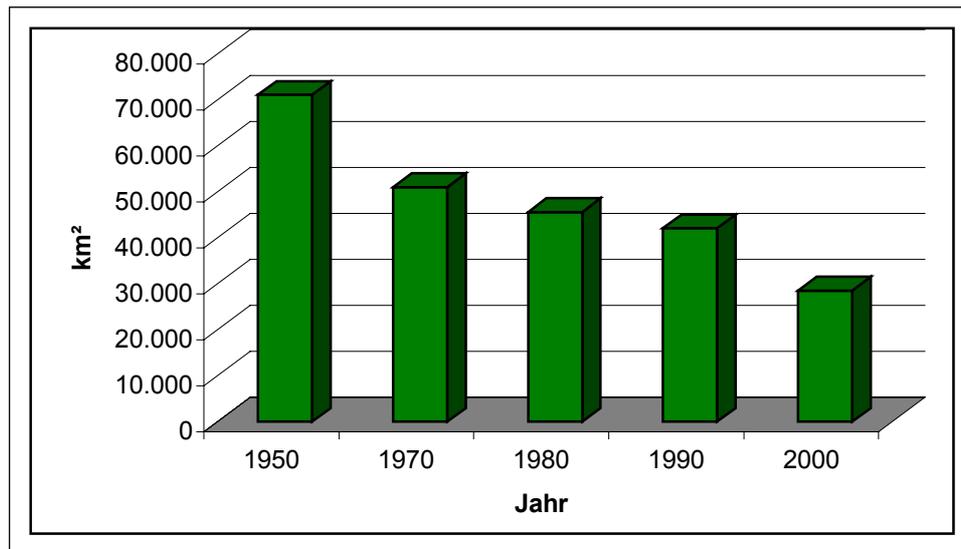


Abbildung 47: Waldfläche in Guatemala, 1950-2000. (Datenquellen: siehe Tabelle 22)

Eine Übersicht über die Waldrodung in Guatemala der vergangenen 50 Jahre liefern Abbildung 47 und Tabelle 22 (S. 95f.). Hinsichtlich der Abnahme der Waldfläche zeichnet sich ein klarer Trend ab. Während 1950 noch rund 65% der Landesfläche mit Wald versehen waren, sind es in 2000 nur noch circa 26%. Im direkten Vergleich errechnet sich ein Waldverlust von ungefähr 60% im betrachteten Zeitraum. Es ist auffällig, dass je nach Autor die Angaben zur Waldflächenverteilung stark schwanken. So werden zum Beispiel für das Jahr 1990 drei unterschiedliche Angaben über die Waldflächen für Guatemala angegeben. Gleiches gilt für die jährlichen Abholzungsraten. Die Werte schwanken von circa 54.000 bis 90.000 ha pro Jahr. Als Ursache können sowohl die jeweiligen unterschiedlichen Interessen als auch die zugrundeliegenden Auswertungsmethoden angesehen werden, ebenso wie die Verwendung z.T. unterschiedlicher Datengrundlagen. Aufgrund der neueren Untersuchungen von BAUMEISTER (2001) und FAO (2001) zur Waldrodung auf nationaler Ebene gilt nun ein Waldrodungsumfang von circa 50.000 bis 60.000 ha pro Jahr als realistisch. Ob in den vergangenen 50 Jahren eine Zunahme hinsichtlich der jährlichen absoluten Abholzungsrate vorlag, ist den bisherigen Arbeiten nicht zu entnehmen.

Die FAO (2003) ermittelte in ihrem aktuellen *„State of the World Forests“* eine jährliche Veränderung der globalen Waldfläche für den Zeitraum von 1990-2000 von 9.391.000 ha, dies entspricht einer prozentualen Abnahme von 0,2% weltweit. In Guatemala beträgt die jährliche Abnahme 1,7% und nimmt damit weltweit eine der obersten Ränge ein, noch vor Brasilien (0,4%) und Indonesien (1,2%). Nur Haiti (5,7%), Saint Lucia (4,9%), Nicaragua (3,0%), Belize (2,3%) und Nepal (1,8%) weisen noch höhere jährliche Abholzungsraten auf. Diese Zahlen verdeutlichen das globale Ausmaß der Abholzung und verdeutlichen im Besonderen die Brisanz in Guatemala.

Die Landnutzungsdynamik im Untersuchungsgebiet in den Bergnebelwäldern Guatemalas (Alta Verapaz) wird auf den Fotos 3 bis 6 (S. 94) deutlich. Die intakten Bergnebelwälder der

Sierra Yalijux (Foto 3) wurden in den vergangenen Jahrzehnten zum Teil durch die traditionelle Brandrodung abgeholzt (Foto 4). Daraus resultierten gravierende Landschaftsveränderungen, zumal die landwirtschaftlichen Flächen jährlich im Rahmen der Vorbereitungen für die Einsaat nochmals gebrannt werden (Foto 5). Das Ergebnis sind großflächig abgeholzte Flächen in den niederen Höhenlagen und nur noch Habitatfragmente in den höhergelegenen Kuppenbereichen (Foto 6).

Die artbezogene als auch ökosystemare Vielfalt ist durch die nach wie vor starke Abholzung in den tropischen und subtropischen Waldgebieten gefährdet. Aufforstungsprogramme seitens des Staates werden zwar durchgeführt, können die Rodungen jedoch nicht annähernd kompensieren und die starken ökologischen Veränderungen nicht rückgängig machen. Den deutlichen Zusammenhang zwischen Abholzung und Artensterben haben MC ARTHUR & WILSON (1967) mit dem *species-area model* belegt. LUGO et al. (1993) bestätigen diesen Zusammenhang, vertreten jedoch die Auffassung, dass sich dieser negative Trend durch Managementstrategien aufhalten ließe. Eine Zunahme der Artenvielfalt auf degradierten Flächen wäre demnach durch Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit, insbesondere der organischen Substanz, Habitatdiversifizierung innerhalb von Agrarlandschaften, Feuermonitoring, Abwasserrecycling u.a.m. zu erwarten.

Die Folgen und Konsequenzen der Abholzung sind zahlreich: direkter Verlust von Arten, Habitatfragmentierung und -zerstörung (MARKUSSEN & RENNER 2002), klimatische Auswirkungen, die sowohl auf globaler Ebene als auch vor allem hinsichtlich des Meso- und Mikroklimas stattfinden, gravierende Auswirkungen auf die Bodeneigenschaften hinsichtlich bodenphysikalischer, -chemischer und -biologischer Parameter.

HAYES & SADER (2001) haben drei verschiedene *change-detection* Methoden verglichen: NDVI Unterscheidung, PCA change detection und RGB-NDVI Klassifizierung. Dabei kommen sie zu dem Ergebnis, dass die RGB-NDVI Klassifizierung am besten geeignet ist, die raum-zeitlichen Veränderungen in tropischen Feuchtwäldern zu determinieren. Die Erfassung der Waldkonversion ist vor allem für die ortsansässigen NGO's von großer Bedeutung, um die Ergebnisse als Argumentationsgrundlage einsetzen zu können: Einerseits kann damit der Handlungsbedarf für Schutzprojekte aufgezeigt werden, andererseits kann ein Monitoring der Waldkonversion für bereits bestehende Projekte Aussagen über die Projekterfolge treffen (Effizienzkontrolle).



Foto 3: Intakter Bergnebelwald in der Sierra Yalijux, Alta Verapaz



Foto 4: Traditionelle Brandrodung neuer Waldflächen



Foto 6: Hohe Reliefenergie mit Habitatfragmenten in den höhergelegenen Kuppenbereichen



Foto 5: Gravierende Landschaftsveränderungen

Fotos 3-6: Landnutzungsdynamik in Bergnebelwaldgebieten Guatemalas (Alta Verapaz)

Tabelle 22: Abschätzung der Abholzung und Waldfläche in Guatemala von 1950 bis 2000

Jahr	Waldfläche (% der Landesfläche)	Waldfläche (km ²)	Jährliche Abholzungsrate (ha) / [%]	Quelle	Anmerkungen
1950	65,0	70.451	-	INAFOR (1982) ¹	
1950	65,2	71.000	-	OAS (1991) ²	
1970	47,0	51.000	-	LEONARD (1987) ²	
1975-76	39,7	43.750	-	MITTAK (1977)	Die Untersuchung enthält keine Beschreibung der angewandten Methode.
1977	33,0	36.100	-	INAFOR (1982) ¹	
1950-77	-	-	63.700	INAFOR (1982) ¹	
1979	39,7 ⁶	43.230	-	BAUMEISTER (2001)	Die Berechnungen der Landnutzungsveränderungen basieren auf Erhebungen und Abschätzungen von Experten.
1980	42,0	45.500	-	WILKIE (1993) ¹	
1980	40,4 ⁶	44.000	-	CONAMA (1992) ²	
1982	-	-	60.000	NATIONS & KOMER (1983) ²	
1983	-	-	60.000	LEONARD (1987) ¹	
1981-85	-	-	90.000	WRI (1992) ¹	
1987-88	37,3 ⁶	40.650	-	SAGASTUME (1992)	Der Gutachter deutet darauf hin, dass die Karten als vorläufig angesehen werden müssen, da es bei der Bearbeitung Probleme mit Wolken auf den Luftbildern gab und zudem keine Ground-checks durchgeführt wurden.
1989	-	-	70.000	KAIMOWITZ (1996)	Schätzungen nach KAIMOWITZ.
1989	40,0	43.754	55.600	ESCOBAR et al. (1989) ¹	
1981-90	-	-	81.000	FAO (1993) ²	
1990	-	-	60.000-90.000	PAFG (1991) ¹	
1990	33,98 ⁶	37.000	90.000	UTTING (1993) ²	
1990	38,57 ⁶	42.000	-	FAO (1993) ²	

Jahr	Waldfläche (% der Landesfläche)	Waldfläche (km ²)	Jährliche Abholzungsrate (ha) / bzw. [%]	Quelle	Anmerkungen
1990	39,06	42.253	-	FAO (1997) ⁵	
1991	-	-	90.000	MERLET et al. (1992) ²	
1992	31,1	33.900	-	PAFG (1991) ⁴	
1992	31,13	33.902	-	CONAMA et al. (1999) ⁵	
1977-92	-	-	65.900 [1,5%]	CONAMA et al. (1999) ⁵	
1993	48,0	52.710	-	WRI (1996) ¹	
1993	-	-	90.000	WILKIE (1993) ¹	
1995	34,4	38.410	-	FAO (1997) ⁵	
1996	34,0	37.500	-	PAFG (1996) ¹	
1996	31,9	34.801	82.000	CCAD (1998)	
1996	28,1	30.620	-	LÓPEZ (1998)	Die Berechnung geht von einer jährlichen Abholzungsrate von 82.000 ha aus.
1997	-	-	90.000	CONAP (1997) ¹	
1997	-	-	82.000	FAO (1997) ^{4, 5}	
1998	26,02	28.982	-	CONAMA et al. (1999) ⁵	
1979-99	29,2 ⁶	31.760	57.350 ⁶	BAUMEISTER (2001)	
1998-99	34,57	37.727	-	INAB (2000)	Die Daten sind methodisch nicht vergleichbar mit den Abschätzungen von SAGASTUME (1992).
2000	26,3	28.497	-	FAO (2001) ³	
1990-2000	-	-	53.743 [1,7%]	FAO (2001) ³	Basiert auf INAB (2000) und SAGASTUME (1992).

¹ zit. nach SISTEMA DE LAS NACIONES UNIDAS EN GUATEMALA (1998) und DIX (1999).

² zit. nach KAIMOWITZ (1996).

³ http://www.fao.org/forestry/fo/country/index.jsp?geo_id=174&lang_id=1, diciembre 2002.

⁴ zit. nach LÓPEZ (1998).

⁵ zit. nach CONAMA et al. (1999).

⁶ Eigene Berechnungen.

Tabelle 22 (Fortsetzung): Abschätzung der Abholzung und Waldfläche in Guatemala von 1950 bis 2000

Zusammenstellung der Daten erarbeitet von LÖNING & MARKUSSEN (2003a und 2003b)

6.2.2 Ursachen der Waldrodung

Bezüglich der Ursachenforschung für die Waldrodung in Guatemala gibt es zahlreiche Ansätze, die jedoch häufig sehr ungenau bzw. zum Teil auch widersprüchlich in der Argumentation sind. CUADERNOS CHAC (1996) führen als Hauptursache für die Abholzung die staatlichen Anreize an. Hierzu gehören z.B. gezielte Kreditförderung für die landwirtschaftliche Intensivierung, was die Umwandlung von Waldflächen in landwirtschaftlich nutzbare Flächen nach sich zieht. Demnach wurden vom guatemaltekischen Staat für 1992/93 14.820 Quetzales pro Quadratkilometer für Agrar- und Weideland investiert, wohingegen nur 764 Quetzales für eine Forstfläche gleichen Ausmaßes ausgegeben wurden. Vor allem die Ausweitung der viehwirtschaftlichen Flächen im Petén ging zu Lasten der Tieflandsregenwälder (KAIMOWITZ 1996, WORLD BANK 1995a).

Ein weiterer Auslöser ist die verstärkte Migration. Aufgrund der unklaren Landtitelzuweisungen in Guatemala ist die Abwanderung in weniger dicht besiedelte Räume die Folge, was wiederum in diesen Gebieten zu einer verstärkten Waldkonversion führt. Im Petén werden die höchsten Bevölkerungswachstumsraten von bis zu 11% erreicht (CUADERNOS CHAC 1996). Diese hohen Zuwachsraten sind zusätzlich bedingt durch Rückführungsprogramme von Flüchtlingen, die nach dem Bürgerkriegsende 1996 wieder aus dem Exil umgesiedelt wurden.

DIGEBOS (o.J.) nennen für Guatemala vorrangig folgende Gründe für die Abholzung: Brennholznutzung 63%, landwirtschaftliche Besiedlung 29%, Waldbrände, Plagen und Krankheiten 7% und industrielle Nutzung 1%. Diese Zahlen stehen im Widerspruch zu den in aktuelleren Untersuchungen angeführten Ursachen. Die Daten von CONAMA et al. (1999) und BAUMEISTER (2001) in den Tabellen 23 und 24 deuten vor allem auf eine kleinbäuerliche und möglicherweise subsistenzbedingte Ausweitung der Agrarflächen in Guatemala hin.

jährliche Waldrodung durch	in 1000 ha	in %
„Landwirtschaftliche Migration“	64,4	78,5
Extensive Viehwirtschaft	8,2	10,0
Illegaler Holzeinschlag	4,1	5,0
Brennholz	2,5	3,0
Waldbrände	1,6	2,0
Natürliche Ursachen	0,8	1,0
Kommerzielle Nutzung	0,4	0,5

Tabelle 23: Direkte Ursachen von Waldrodung in Guatemala, 1993-1997, Quelle: CONAMA et al. (1999).

in 1000 ha	1979	1999	Δ
Landwirtschaftliche Produktionsfläche	1.310	1.490	180
„Andere“ landwirtschaftliche Flächen	3.766	4.638	872
Waldoberfläche	4.323	3.176	-1.147
Weideland	1.334	1.400	66
Sonstige Flächen	156	185	29

Tabelle 24: Veränderungen der Landnutzung in Guatemala, 1979-1999, Quelle: BAUMEISTER (2001).

ENB (1999c) nennt folgende Gründe für die Umwandlung von Wald in landwirtschaftliche Nutzflächen: geringe Bodenfruchtbarkeit, extreme Armut, Bevölkerungszuwachs, unsichere Besitzverhältnisse, Migrationsbewegungen aufgrund von Landmangel, institutionelle und rechtsstaatliche Schwächen oder Gewalt. Auf die Konsequenzen der Abholzung in Guatemala geht INAFOR (o.J.) verstärkt ein.

Eine detaillierte Übersicht der vergangenen 20 Jahre zur Waldrodung in Guatemala liefert die FAO (1999). Die WORLD BANK (1995a) und darauf aufbauend KATZ (2000) beschäftigen sich explizit mit der Eigentumsrechtsproblematik des Landes. Die Studien liefern insgesamt sehr uneinheitliche Ergebnisse und sind meistens qualitativer Natur. Während bis in die 80er Jahre die Ausweitung der Viehwirtschaft als Hauptursache angesehen wurde, erfolgte später eine Fokussierung auf Bevölkerungswachstum, Armut und nicht-nachhaltige Landnutzungsformen.

Wissenschaftlich detailliert untersucht ist die seit 1990 bestehende Reserva de la Biósfera Maya im Petén Guatemalas. Auf der Basis von Satellitenbilddauswertungen kommen SADER et al. (2001) zu dem Ergebnis, dass die jährliche Waldrodung im Biosphärenreservat in den vergangenen Jahren kontinuierlich gestiegen ist (Tabelle 25). Eine Zunahme ist dabei in fast allen Projektregionen und in den Puffer-Zonen zu verzeichnen. Von CHEMONICS INTERNATIONAL et al. (2000) wird dafür unter anderem als Erklärung genannt, dass die Vermittlung alternativer landwirtschaftlicher Produktionstechniken keine Wirkungen hinsichtlich verringerter Rodungsaktivitäten erkennen lässt. Möglicherweise stellen zudem die Puffer-Zonen *de facto* einen Service-Korridor für die zu schützenden Gebiete dar und verstärken in diesem Sinne die Waldkonversion.

	1986-1990	1990-1993	1993-1995	1995-1997
Maya-Biosphärenreservat	0,04	0,23	0,33	0,36
Puffer-Zonen	0,74	2,71	3,76	3,28

Tabelle 25: Jährliche Waldrodung im Maya-Biosphärenreservat, 1986-1997, in [%], Quelle: SADER et al. (2001) und SADER et al. (1997).

Auffällig ist dabei, dass ab 1990, also mit der Etablierung des Schutzgebietes, ein sprunghafter Anstieg der Waldrodung zu verzeichnen ist. Es bleibt allerdings die Frage offen, ob ohne die Einrichtung des Schutzgebietes und der Pufferzonen die jährliche Waldrodung noch größer gewesen wäre, als unter heutigen Umständen und Bedingungen. Betrachtet man Landnutzungsveränderungen des Petén in Regionen ohne Unterschutz-Stellung, so stellt man fest, dass hier die Abholzung noch größer ist als in den Schutzgebieten und den Pufferzonen. Deutlich wird dies auch am Nationalpark Laguna Lachua im Tiefland von Alta Verapaz. Auf dem Satellitenbild vom 23.01.2000 ist die genaue Grenzziehung des Nationalparkes mit einer Größe von 14.500 ha zu erkennen. Der Park ist noch fast vollständig bewaldet, während die umliegenden Gebiete in den letzten Jahren fast vollständig entwaldet wurden. Hier ist der Schutz des Waldes innerhalb des staatlichen Nationalparkes als positiv zu bewerten, jedoch fehlt jegliches Pufferzonenmanagement.

6.2.3 Waldkonversion im Projektgebiet

Die Datenlage zur Waldkonversion ist als dürftig einzuschätzen. In Guatemala liegen bislang fast ausschließlich Daten zur Waldkonversion aus dem Tiefland des Departamentos Petén vor (HAYES et al. 2002). Ferner gibt es Angaben in Bezug auf Rodungsaktivitäten aus dem Biosphärenreservat Sierra de las Minas. Für die Waldkonversion im Projektgebiet der Sierra Yalijux finden sich bislang nur Schätzungen bei SCHULZ & UNGER (2000) hinsichtlich des aktuellen Bestandes des Bergnebelwaldes. Demnach sind von dem 273 km² großen Projektgebiet noch 55 km² mit Nebelwald bestanden.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen werden erstmals die raum-zeitliche Dynamik der Waldflächenverteilung sowie die Abholzungsraten determiniert. Es zeigt sich, dass die Abholzung im Zeitraum von 1986 bis 2000 deutlich unter dem nationalen Mittelwert Guatemalas von 1,7% liegt. Die Abholzungsrate wird derzeit von VOIGT (i.V.) ermittelt, weshalb an dieser Stelle nur eine Tendenz angegeben werden kann. Die Bergnebelwälder sind im Vergleich zu den Tieflandswäldern weniger stark bedrängt, da das viehwirtschaftliche Interesse der Bevölkerung in Guatemala eher auf die Ebenen ausgerichtet ist und die Bergnebelwälder gleichzeitig schwerer zugänglich sind. Dennoch sind nur noch kleine Waldflächen in der Bergnebelzone vorhanden, so dass das fragile Bergnebelwaldökosystem trotz der geringeren Abholzungsraten gefährdet ist und auch in Zukunft gefährdet bleibt. Innerhalb dieses Forschungsprojektes wurden zwei Satellitenbildszenen aus den Jahren 1986 und 2000 analysiert, um die Abholzungsraten und eine Landnutzungsverteilung zu bestimmen (vgl. Karte 14 und 15, S. 105f.). Bei der Satellitenbildauswertung wurden folgende Klassen identifiziert und klassifiziert:

- Klasse A: Primärwald und Pinienwald,
- Klasse B: Sekundärwald, Sekundärbusch, Kaffee und Kardamom
- Klasse C: *milpa*, Grasland, Freiflächen, Siedlungen.

Bei der Auswahl der Satellitenbilder kamen zahlreiche regionalspezifische Probleme zum Tragen. So sind zum Beispiel aufgrund der starken Wolken- und Nebelbildung in der Region nur sehr wenige auswertbare Satellitenbilder verfügbar. In der Kanalkombination 3-2-1 der Landsat-Bilder ist ein Dunstschleier erkennbar, der jedoch nur angrenzende Regionen und nicht das Untersuchungsgebiet betrifft.

Die Karte 12 (S. 103) liefert einen Überblick über die Waldflächenverteilung im Jahre 1986, auf der der noch fast gänzlich zusammenhängende Waldkomplex sichtbar ist. Die Karte 13 (S. 104) gibt die Verteilung der Landnutzungsklassen im Jahr 2000 wider. Auffällig sind die Veränderungen im Randbereich der Waldkomplexe. Insgesamt ist die Rodung jedoch nur geringfügig fortgeschritten. Eine detaillierte Diskussion der Klassifizierungsthematik bei dieser Satellitenbildauswertung findet sich bei VOIGT (i.V.).

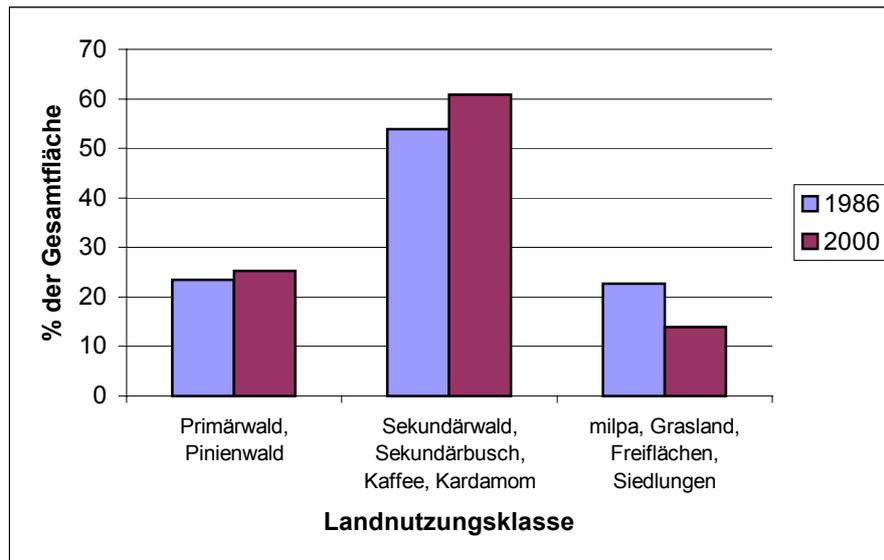


Abbildung 48: Verteilung der Landnutzungsklassen im Untersuchungsgebiet

Die Abbildung 48 zeigt, dass in dem Zeitraum von 1986 bis 2000 eine geringfügige Zunahme von 23,5% auf 25% der Primärwald- und Pinienflächen nachzuweisen ist. Dies ist jedoch primär auf unumgängliche methodische Fehler zurückzuführen. Der Klassifikationsfehler ist vor allem durch die starke Reliefenergie im Untersuchungsgebiet bedingt. Durch die Schattenlage der Steilhänge kommt es nördlich der Montana Yalijux zu einem Schattenschlag z.B. auf vorhandene Bracheflächen und somit zu einer geringen Überschätzung der Klasse Primärwald für das Jahr 2000. Dieses Phänomen tritt besonders an der Ostflanke der Sierra Yalijux zu Tage. Die aus der Klassifizierung resultierende Fragmentierung ist in der Realität nicht so stark ausgeprägt. Eine weitergehende Analyse der Satellitenbilder mit der Fehlerkorrektur sowie die Ermittlung der *Change Detection* nimmt VOIGT (i.V.) vor. Vor diesem Hintergrund müssen die genannten Zahlen noch als vorläufig angesehen werden. Sie machen aber bereits deutlich, dass die Abholzung in der Region nur minimal ist. Es kommt insbesondere im Randbereich der Waldflächen zu einem geringen Fortschreiten der Waldrodung. Die Abholzungszahlen im Untersuchungsgebiet liegen dennoch weit unterhalb des nationalen Durchschnitts in Höhe von 1,7%. Es kann insgesamt sogar von einer stabilen Waldflächenverteilung zwischen 1986 und 2000 ausgegangen werden. Die gegenwärtigen Klassifikationen von VOIGT ergaben nach dem *Maximum Likelihood* Verfahren folgende Ergebnisse:

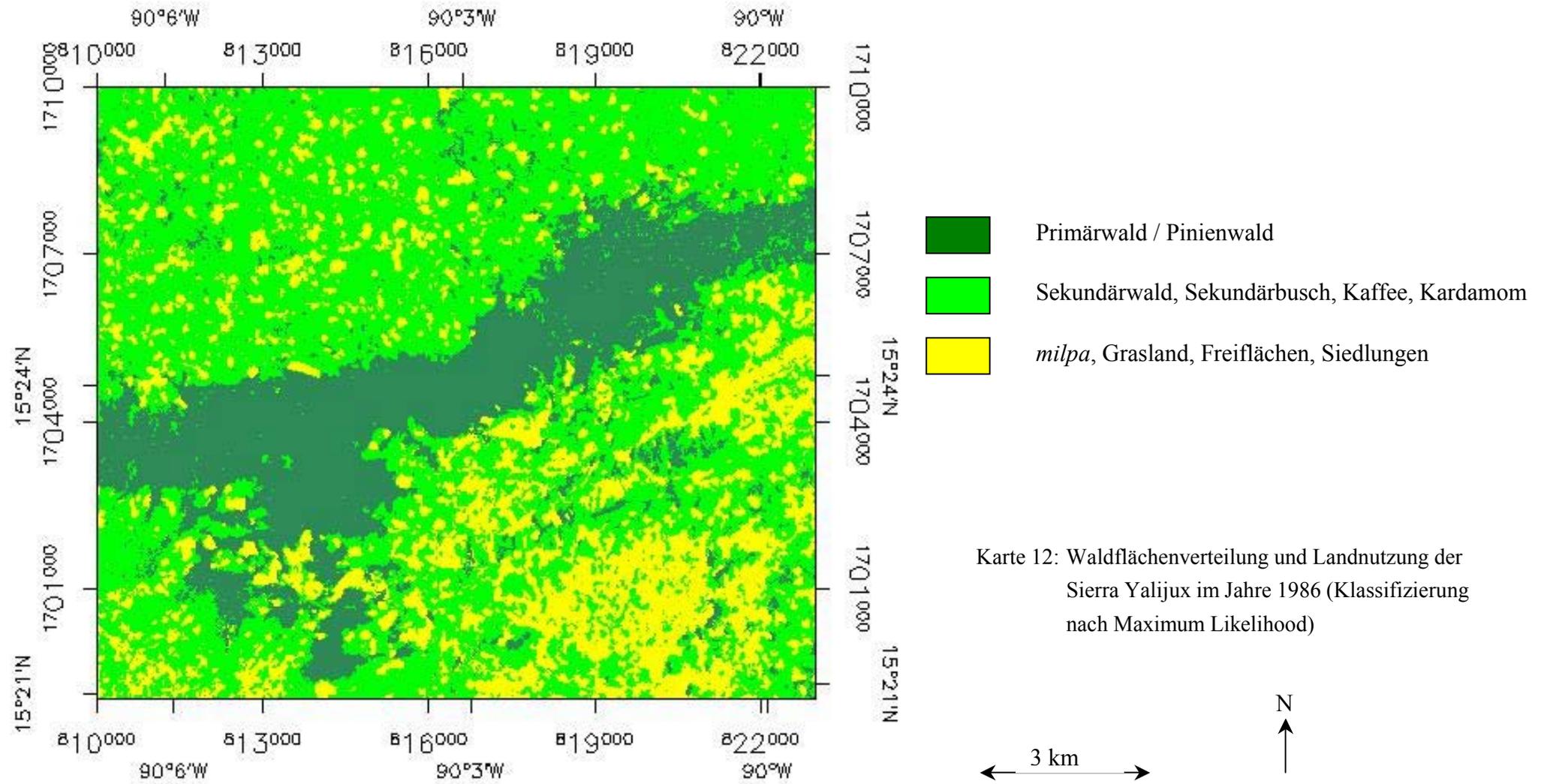
Klassifikation im Bereich Montana Yalijux für 1986:

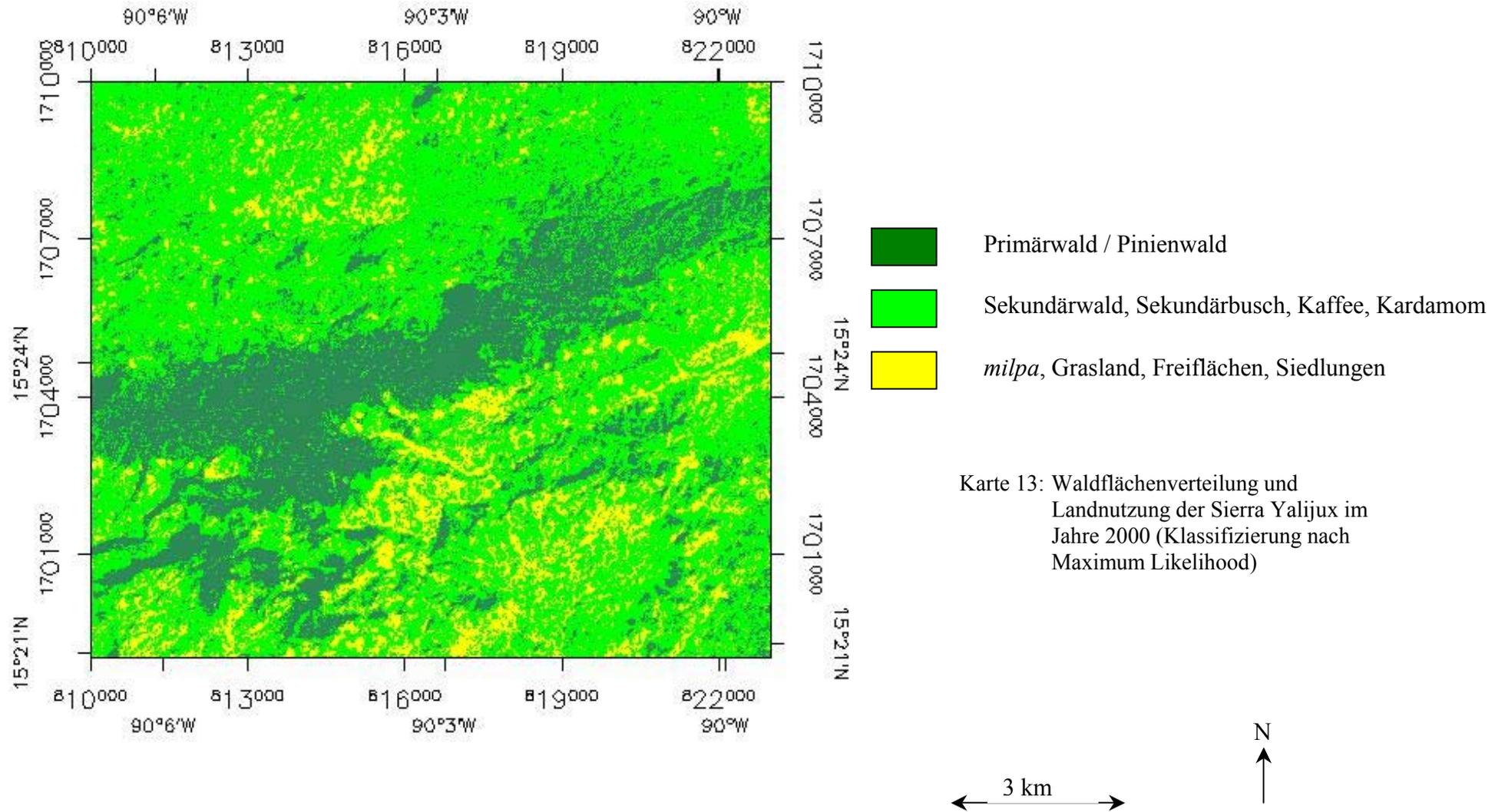
A) Primärwald und Pinienwald	23,5%
B) Sekundärwald, Sekundärbusch, Kaffee, Kardamom	53,9%
C) <i>milpa</i> , Grasland, Freiflächen, Siedlungen	22,6%

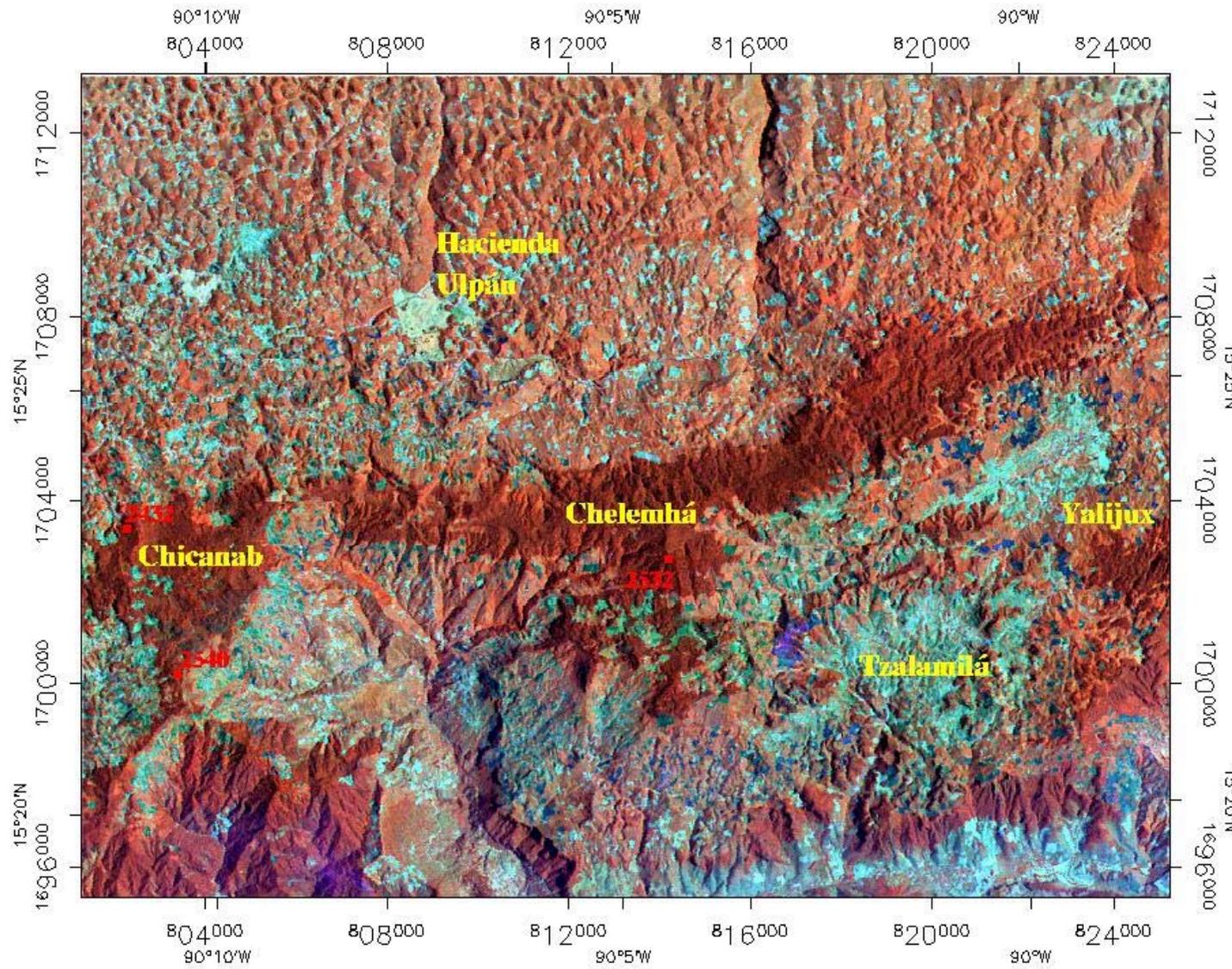
Klassifikation im Bereich Montana Yalijux für Januar 2000

A) Primärwald und Pinienwald	25,2%
B) Sekundärwald, Sekundärbusch, Kaffee, Kardamom	60,8%
C) <i>milpa</i> , Grasland, Freiflächen, Siedlungen	14,0%

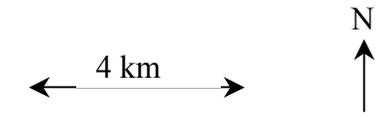
Abschließend lässt sich festhalten, dass der Einfluss von NGO's und staatlichen Schutzprojekten in den letzten Jahren im Untersuchungsgebiet partiell zu einer verbesserten Bodennutzung und damit Verringerung des Rodungsdruckes auf die Nebelwaldrestbestände führte.







Karte 14: Landnutzungsmuster der Sierra Yalijux im Jahr 1986 (Kanalkombination 4-5-3, 1986_4)





Karte 15: Landnutzungsmuster der Region
Chelehmá im Jahr 1986
(Kanalkombination 3-2-7, 1986)

← 3 km →



6.3 Mikroklimatische Ergebnisse

Eine weitere Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung ist es, festzustellen, inwieweit sich die traditionelle Landnutzung auf das Mikroklima der Region auswirkt. Dazu wurden HOBOS eingesetzt, die hochauflösend verlässliche Daten in Bezug auf Luft- und Bodentemperatur, absolute und relative Luftfeuchte, Taupunkt sowie bezüglich des Niederschlags liefern. Die einzelnen Parameter werden im Folgenden detailliert vorgestellt. Auf die Bedeutung der mikroklimatischen Veränderungen für die Biodiversität wird im Diskussionsteil eingegangen.

6.3.1 Luft- und Bodentemperatur

Luft- und Bodentemperatur sind für die biogeoökologische Bestandserfassung von großer Bedeutung. Die Bodentemperatur ist ein steuernder Faktor für die Prozesse im Boden, Veränderungen wirken sich auf Zersetzungsprozesse und die chemische Verwitterung aus. Steigende Temperaturen intensivieren in der Regel auch den Humusabbau.

Die Ergebnisse aus der Untersuchungsregion weisen einen klaren Unterschied der einzelnen Landnutzungssysteme auf (Abbildungen 49 bis 55). Im jährlichen Verlauf bewegt sich die mittlere Lufttemperatur im Primärwald sowohl in 0,5 m als auch in 2 m über der Oberfläche zwischen 9°C und 12°C (Abbildungen 49 und 50). Die Peaks im Mai/Juni und September mit durchschnittlichen Temperaturen von knapp 13°C sind auf die Sonnenhöchststände bzw. den Sonnenjahresgang zurückzuführen. Diese Schwankungen sind somit als atmogen zu bezeichnen. Der deutliche anthropogene Einfluss wird erkennbar, wenn man die mittleren Lufttemperaturen vom 8- bis 10-jährigen Sekundärwald und denen des *milpa*-Systems betrachtet (Abbildung 49 und 50). Die Peaks sind ebenfalls im Juni und September gegeben, jedoch liegt die Temperatur im gesamten Jahresverlauf im Sekundärwald 2°C bis 3°C höher, im *milpa*-System sogar 4°C bis 5°C über den Temperaturen unter Primärwald.

Besonders deutlich werden die Unterschiede bei der Betrachtung der maximalen Lufttemperatur (Abbildung 51). Aufgrund der starken Einstrahlung auf den ungeschützten Luftraum über dem *milpa*-System werden hier maximale Lufttemperaturen in Höhe von 32,7°C erreicht, obwohl jeweils ein Strahlungsschutz für die Hobos installiert war, wohingegen im Primärwald nur maximale Lufttemperaturen von unter 20°C gemessen wurden.

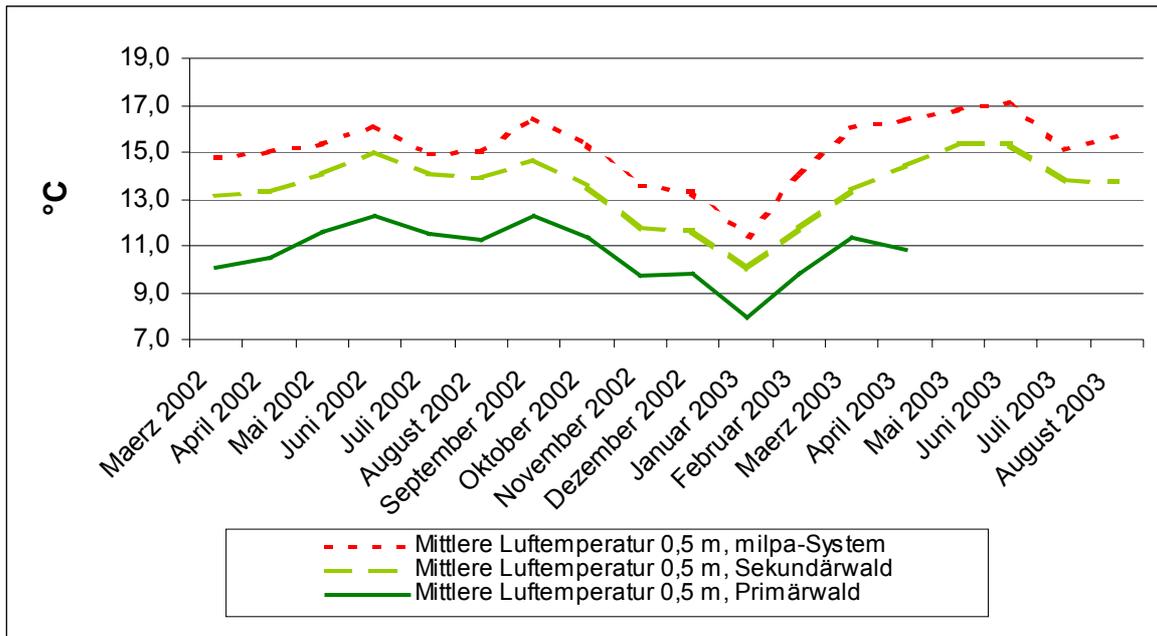


Abbildung 49: Monatsmitteltemperatur in 0,5 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten

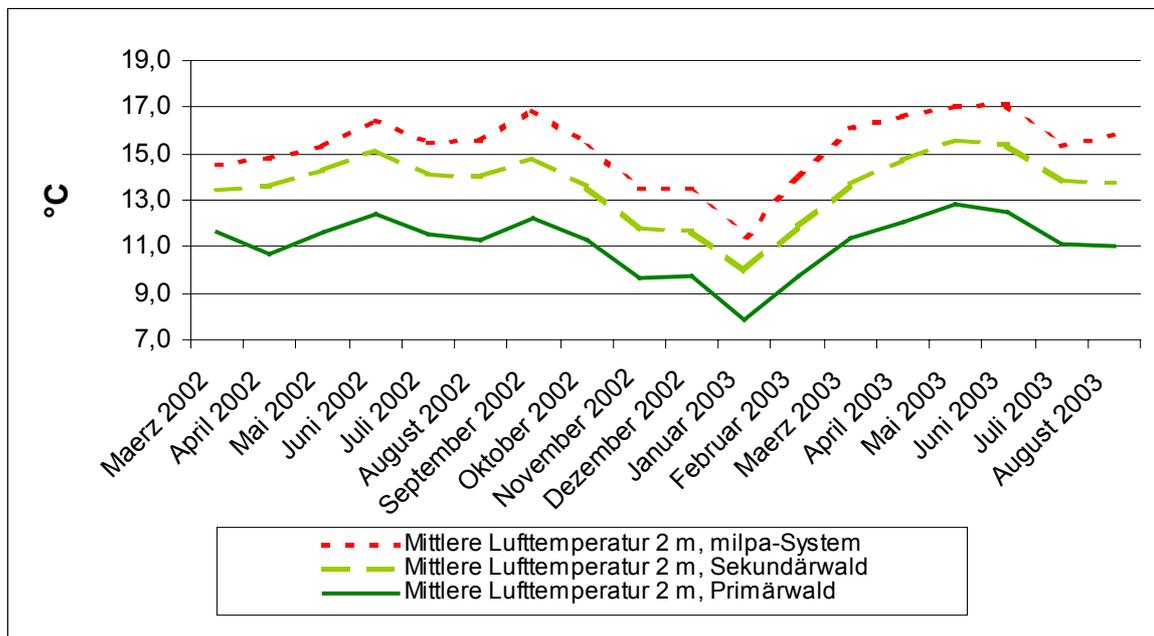


Abbildung 50: Monatsmitteltemperatur in 2,0 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten

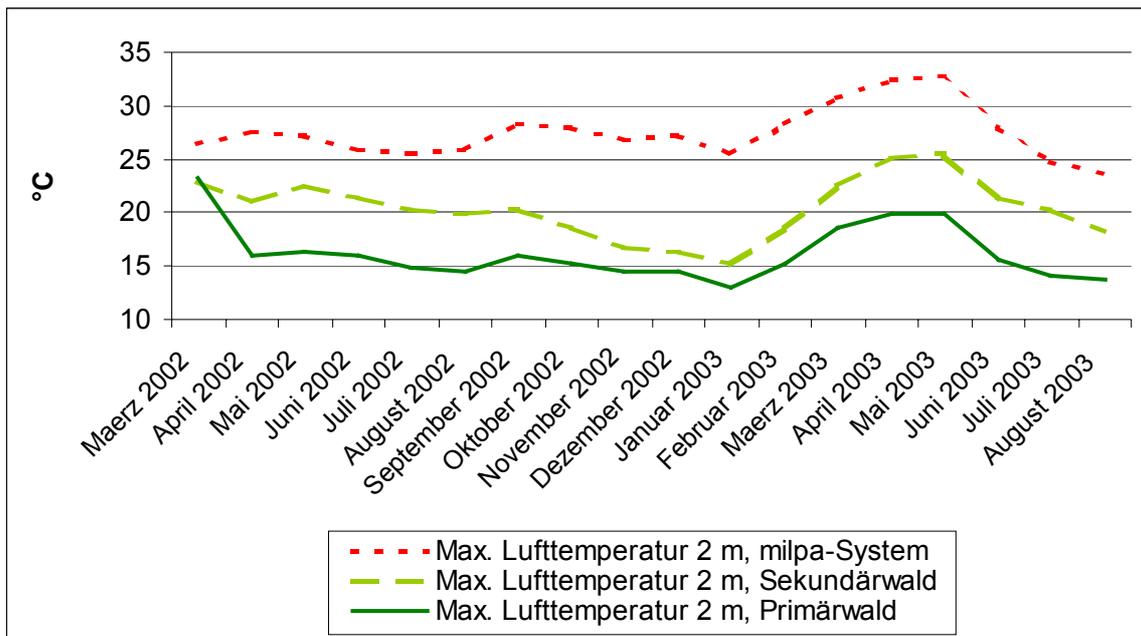


Abbildung 51: Monatliche maximale Lufttemperatur in 2,0 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten

Die mittleren Bodentemperaturen in 10 cm Tiefe liefern ein ganz ähnliches Bild (Abbildung 52). Auch hier ist die Abfolge Primärwald < Sekundärwald < *milpa*-System. Die Unterschiede sind ähnlich wie bei der Lufttemperatur. Während die mittlere Lufttemperatur in 0,5m Höhe und die Bodentemperatur in 10 cm unter Primärwald in etwa gleich sind, erhöht sich im *milpa*-System die Bodentemperatur aufgrund der direkten Einstrahlung im September auf über 18°C und liegt somit noch über der Lufttemperatur in 0,5m Höhe (16,5°C, Abbildung 49). Höchstwerte der Bodentemperaturen im *milpa*-System wurden bei 21,3°C gemessen (Abbildung 53). Diese Maximalwerte ergeben auch hinsichtlich der Lufttemperaturen folgendes Bild: Im September 2002 wurden in 2m Höhe im Primärwald Maximaltemperaturen von 16°C gemessen, im *milpa*-System hingegen 28,3°C (Abbildung 51).

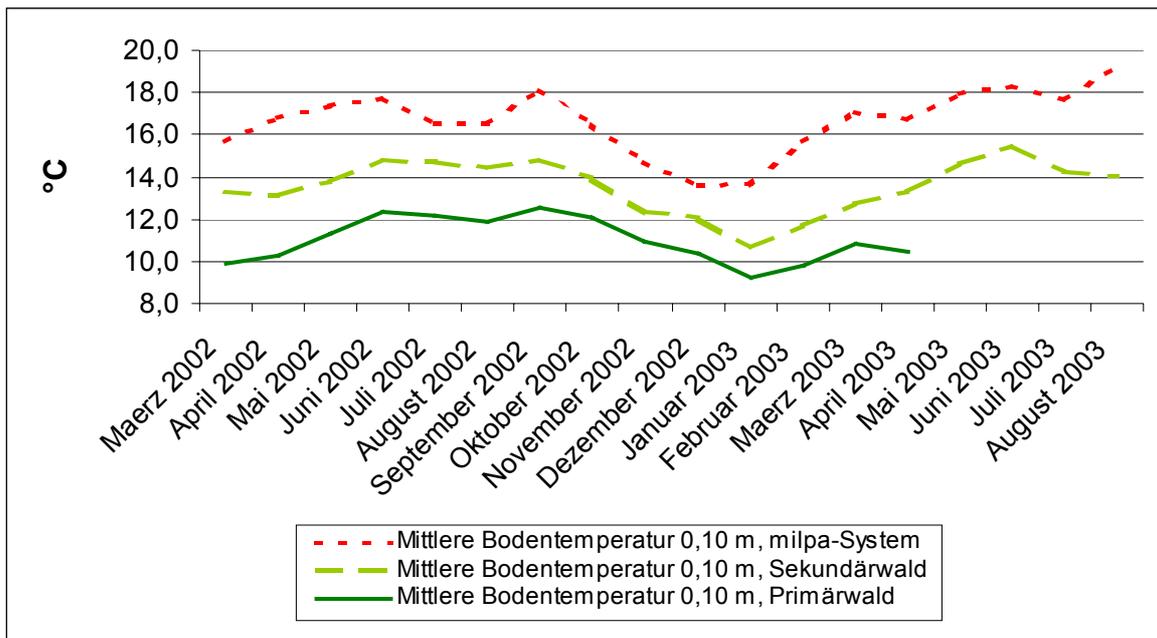


Abbildung 52: Mittlere monatliche Bodentemperatur in 0,1 m Tiefe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten

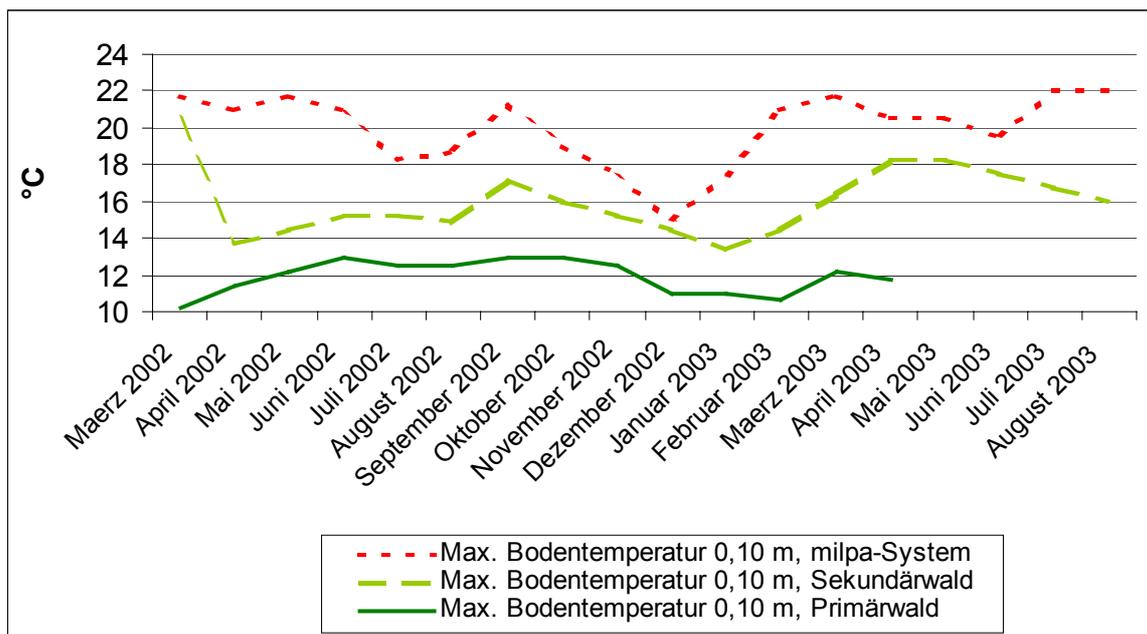


Abbildung 53: Maximale monatliche Bodentemperatur in 0,1 m Tiefe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten

Die Betrachtung der minimalen und maximalen Lufttemperaturen führt ebenfalls zu der klaren Abfolge Primärwald < Sekundärwald < milpa-System (siehe Tabellen 78 und 79 im Anhang). Auffällig dabei ist, dass die Maximalwerte im Jahresverlauf jeweils relativ konstant sind, die Minimaltemperaturen hingegen stark in Abhängigkeit von der Jahreszeit variieren. Im Juni und September steigen die Minimalwerte an, im November ist ein deutliches Absinken erkennbar.

Auch bei den maximalen monatlichen Bodentemperaturen ist die Abfolge feststellbar, wobei sich die Bodentemperatur unter Primärwald sehr konstant verhält (Abbildung 53). Diese Konstanz lässt sich auch im Tagesverlauf der Lufttemperatur erkennen (Abbildung 54). Die Lufttemperatur im Primärbestand weist kaum tageszeitliche Schwankungen auf. Betrachtet man die Daten wahlweise z.B. vom 01.08.2002, so schwankt die Temperatur um 3°C im Tagesverlauf. Im *milpa*-System hingegen schwanken die Temperaturen um bis zu 9°C pro Tag (Abbildung 54).

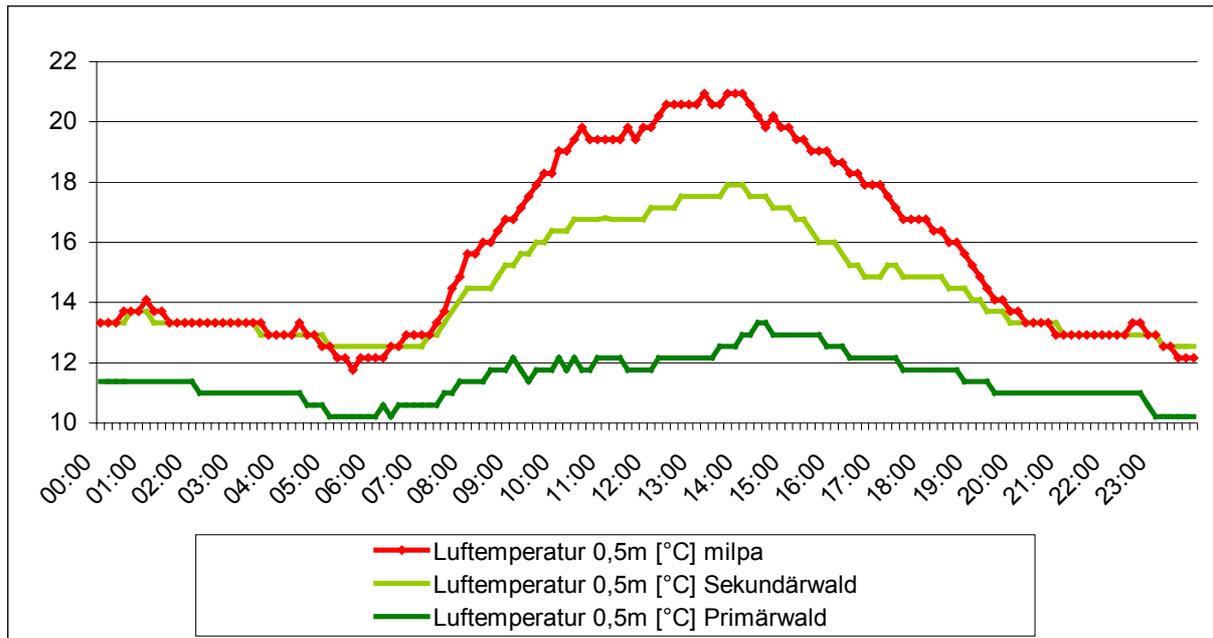


Abbildung 54: Tageszeitlicher Verlauf der Lufttemperatur in 0,5 m Höhe am 01.08.2002, in unterschiedlichen Habitaten

Zusammenfassend lässt sich für den Tagesgang sagen, dass kaum tageszeitliche Schwankungen vorliegen und somit ein konstantes Bestandsklima im Primärwald vorherrscht. Im *milpa*-System hingegen liegt ein extremes Tageszeitenklima vor, mit einer Spanne von 11°C. Es sind deutliche Stabilitätsveränderungen hinsichtlich der Temperatur mit zunehmender Auflichtung durch erhöhte Nutzungsintensität festzustellen. Dieses Verhalten charakterisiert sowohl die 0,5m- als auch die 2m-Messungen über der Oberfläche. Ab der Jahresmitte 2002 findet im unteren Bereich im *milpa*-System nur eine abgeschwächte Erwärmung statt, da zu diesem Zeitpunkt die Maispflanzungen inzwischen über 50 cm erreicht hatten.

Die Bodentemperatur unter Primärwald weist eine ausgeprägte Konstanz auf. Eine deutliche höhere Tagesvarianz ist bedingt durch die direkte Sonneneinstrahlung im *milpa*-System zu erkennen, die tageszeitlichen Schwankungen im Boden betragen 2°C (Beispiel 01.08.2002, Abbildung 55). Auch hier ist eine Veränderung der Stabilität des Mikroklimas durch die Landnutzungsveränderung erkennbar.

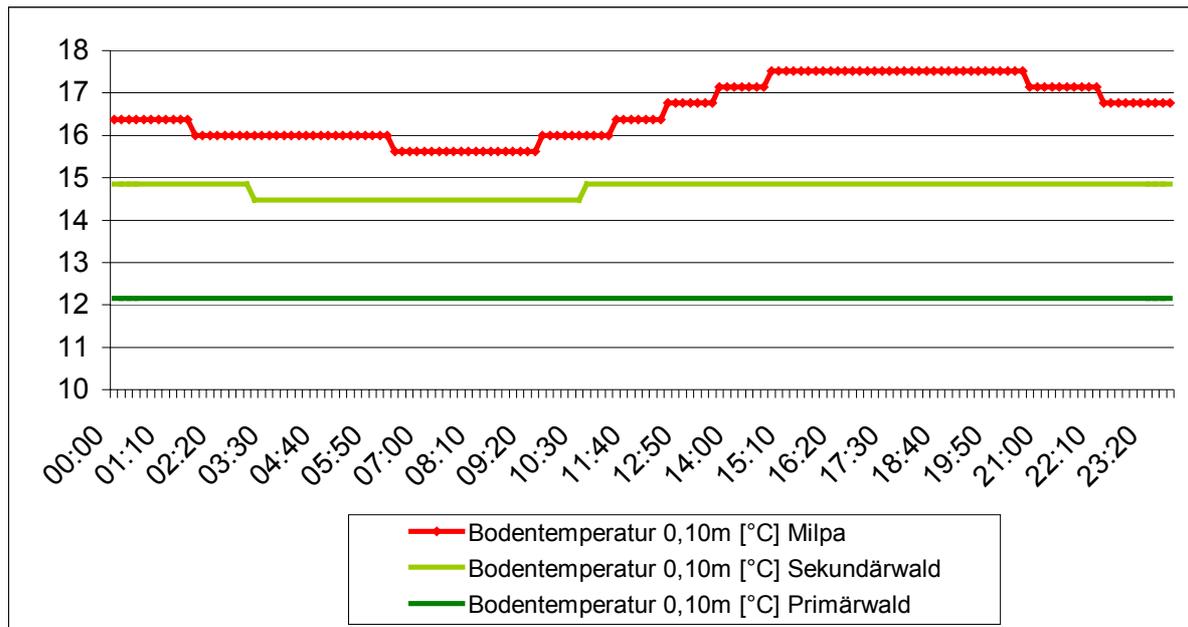


Abbildung 55: Tageszeitlicher Verlauf der Bodentemperatur in 0,1 m Tiefe am 1. August 2002, in unterschiedlichen Habitaten

6.3.2 Absolute und relative Luftfeuchte, Taupunkt

ZAHORKA (2002) beschreibt die maximale Luftfeuchte als wichtige ökologische Funktion der tropischen Feuchtwälder. Die Naturwälder haben zwei wichtige Vorteile: Erstens schützt der Wald den Boden vor direkter Sonneneinstrahlung und verhindert die durch Winde verursachte Austrocknung. Zweitens verringert sich durch die Interzeption die Bodenerosion. Zahlreiche Samen keimen nur bei hoher Luftfeuchtigkeit und gleichzeitig vollständiger Beschattung, weshalb eine Wiederaufforstung von Kahlflächen häufig nicht möglich bzw. sehr schwierig ist.

Im vorliegenden Fall wird deutlich, wie stark sich der anthropogene Einfluss auf die Parameter absolute und relative Luftfeuchte sowie Taupunkt auswirkt. Während sich die Maximalwerte der relativen Luftfeuchtigkeit stets und auf allen Flächen 100% annähern (Abbildung 57), liegen die Minimalwerte im *milpa*-System wesentlich unter denen des Primärwaldes (Abbildung 56). Anschaulich spiegeln dies die Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit wider: Sie liegen im *milpa*-System grundsätzlich mindestens 10 Prozentpunkte unterhalb des Primärwaldes (Abbildung 58).

Dieses ist vor allem auf den Tagesgang im *milpa*-System zurückzuführen. Während im Primärwald ganztägig die relative Luftfeuchtigkeit bei 100% liegt (siehe Beispiel vom 01.08.2002, Abbildung 59), sinkt die Feuchtigkeit auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen zwischen 13h und 14h auf 40%. Aus diesen mikroklimatischen Bedingungen resultieren die charakteristischen Habitatunterschiede. Bezüglich des Zusammenhangs zwischen z.B. avifaunistischen Habitatpräferenzen und mikroklimatischen Rahmenbedingungen sei auf GOTTSCHALK (2002) verwiesen.

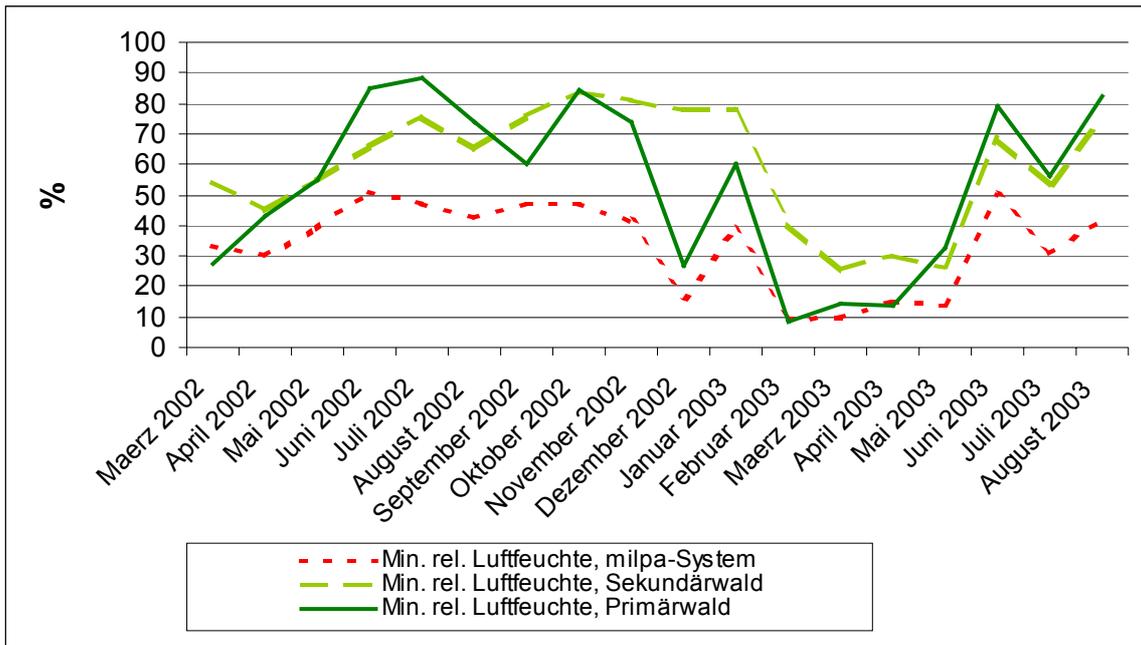


Abbildung 56: Minimalwerte der relativen Luftfeuchte in 2,0 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten

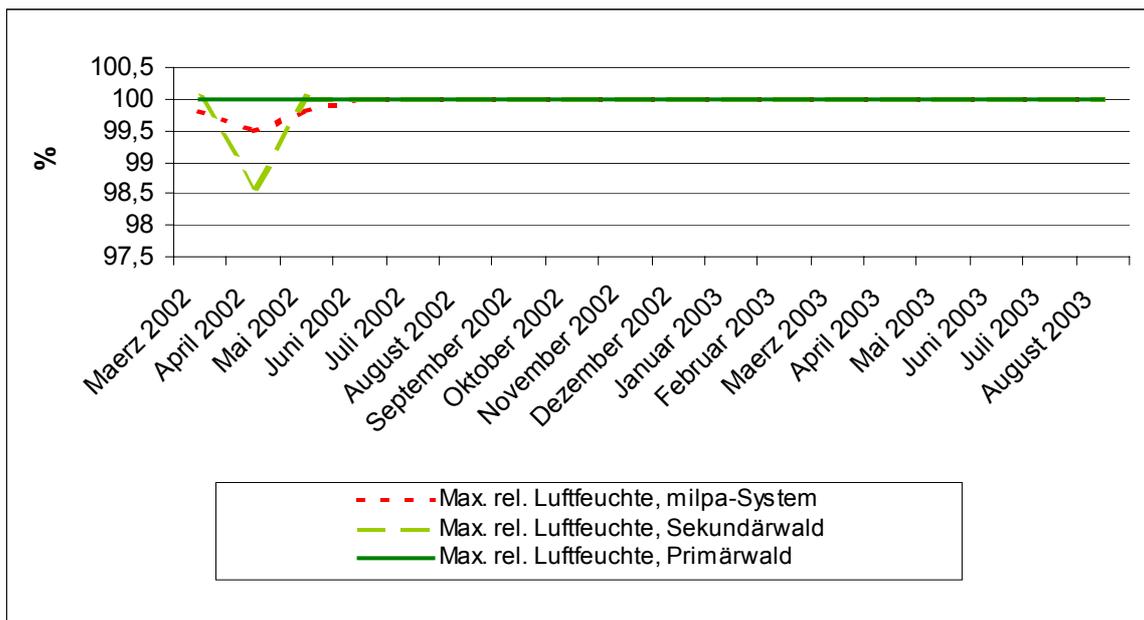


Abbildung 57: Maximalwerte der relativen Luftfeuchte in 2,0 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten

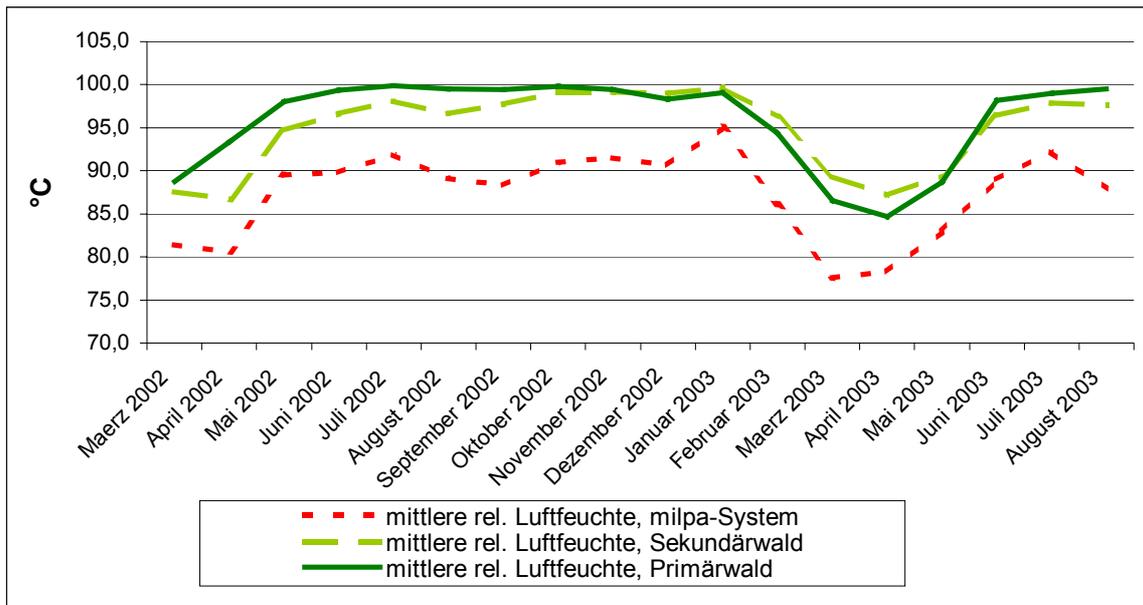


Abbildung 58: Mittlere relative Luftfeuchte in 2,0 m Höhe, März 2002 bis August 2003, in unterschiedlichen Habitaten

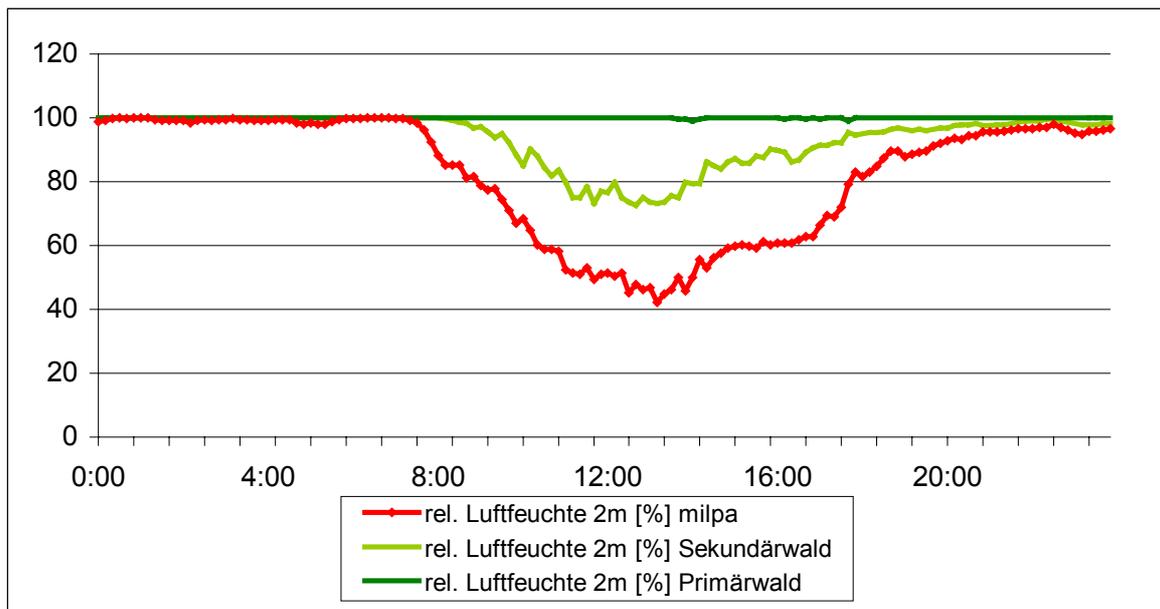


Abbildung 59: Tageszeitlicher Verlauf der Luftfeuchte in 2,0 m Höhe am 01.08.2002, in unterschiedlichen Habitaten

Die deutlichen Unterschiede der Luftfeuchte in den untersuchten Habitaten sind vor allem darin begründet, dass die stärkere Auflichtung zu einer veränderten Transpirations- und Interzeptionsleistung der Vegetation führt und damit ein verändertes Bestandsklima bewirkt.

6.3.3 Niederschlag

Die Freilandniederschläge betragen für den gesamten Messzeitraum vom 19. März 2002 bis zum 14. August 2003 insgesamt 6.343,2 mm (Abbildung 60). Es ergibt sich daraus eine jährliche Gesamtniederschlagsmenge von durchschnittlich 5.100 mm. Dabei sind die Monate Februar bis April etwas trockener als das übrige Jahr. Höchstwerte sind im Juli und Dezember 2002 zu verzeichnen. Der Bestandsniederschlag im Sekundärwald beträgt für den gleichen Zeitraum von März 2002 bis zum 26. August 2003 4.226 mm. Das entspricht 65% des Freilandniederschlages. 35% werden als Interzeption von der Pflanzendecke zurückgehalten. Ein Teil davon verdunstet relativ schnell, ohne die Bodenoberfläche zu erreichen und ein weiterer Teil gelangt als Stammabfluss in den Bodenwasserhaushalt.

Die Bestandsniederschlagsmessung im Primärwald war leider mit einigen Datenausfällen verbunden, so dass nur einzelne kleinere Zeiträume in der Auswertung mit berücksichtigt werden können. Eine Jahressumme für den Bestandsniederschlag unter Primärwald lässt sich mit den vorliegenden Daten nicht ermitteln. Abbildung 61 zeigt für sieben ausgewählte Zeiträume den direkten Vergleich zwischen Freiland- und den beiden Bestandsniederschlägen. Es zeigt sich, dass bis Oktober 2002 tendenziell der Freilandniederschlag höher ist als der Bestandsniederschlag, wobei der Primärwald eine leicht höhere Niederschlagsmenge aufweist als der Sekundärwald. Dies hängt mit der höheren Luftfeuchte und stärkeren Nebelbildung im Primärwald zusammen, der einen erhöhten Wassereintrag zur Folge hat. Dieser Effekt tritt besonders im November und Dezember zutage, wobei der Bestandsniederschlag offensichtlich den Freilandniederschlag im *milpa*-System überragt. Im November liegt der Bestandsniederschlag im Primärwald bei 461 mm, im *milpa*-System bei 341 mm. Das bedeutet für November 2002 einen um 38% erhöhten Eintrag im Primärwald, in der ersten Dezemberhälfte 2002 bei 30% (Abbildung 60). Aufgrund der niedrigeren Temperaturen und den sehr hohen Luftfeuchtigkeitsgehalten ist davon auszugehen, dass der Nebelbeitrag hier eine große Rolle einnimmt und den gesamten Wasserkreislauf stark beeinflusst.

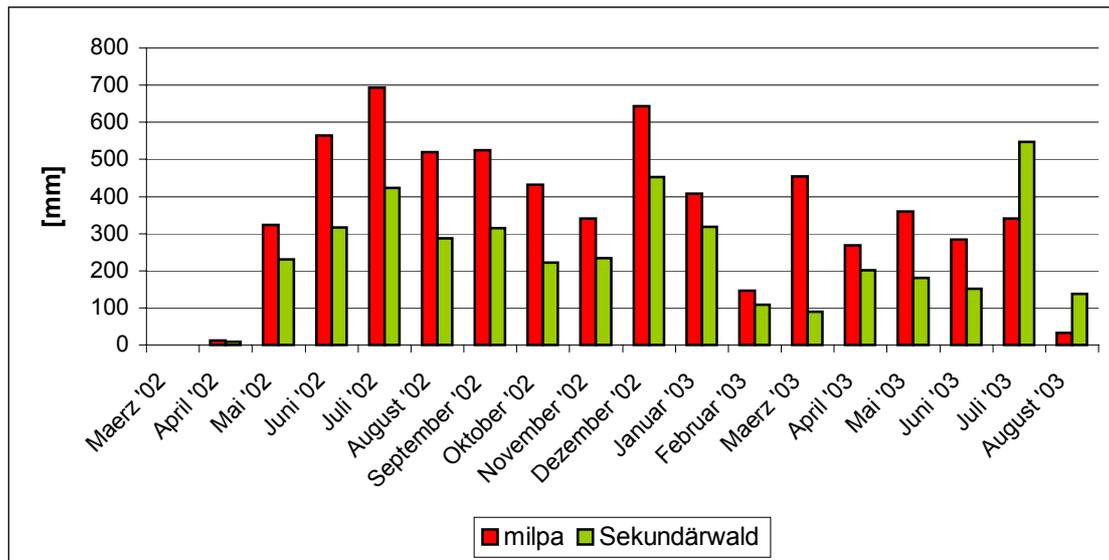


Abbildung 60: Niederschläge im Vergleich: *milpa*-System und Sekundärwald-Bestandsniederschlag, März 2002 bis August 2003

Die Niederschlagsverteilung im Jahresverlauf wird in Abbildung 60 dargestellt. Ein klarer Peak ist im Juli zu erkennen. Es liegt eine ausgeprägte lang andauernde Regenzeit vor, die sich von Juni bis Oktober erstreckt. Im Dezember 2002 wurden mit 650 mm nochmals starke Niederschlagsmengen verzeichnet. Der April 2002 weist mit 12,6 mm eine ausgeprägte Trockenheit auf.

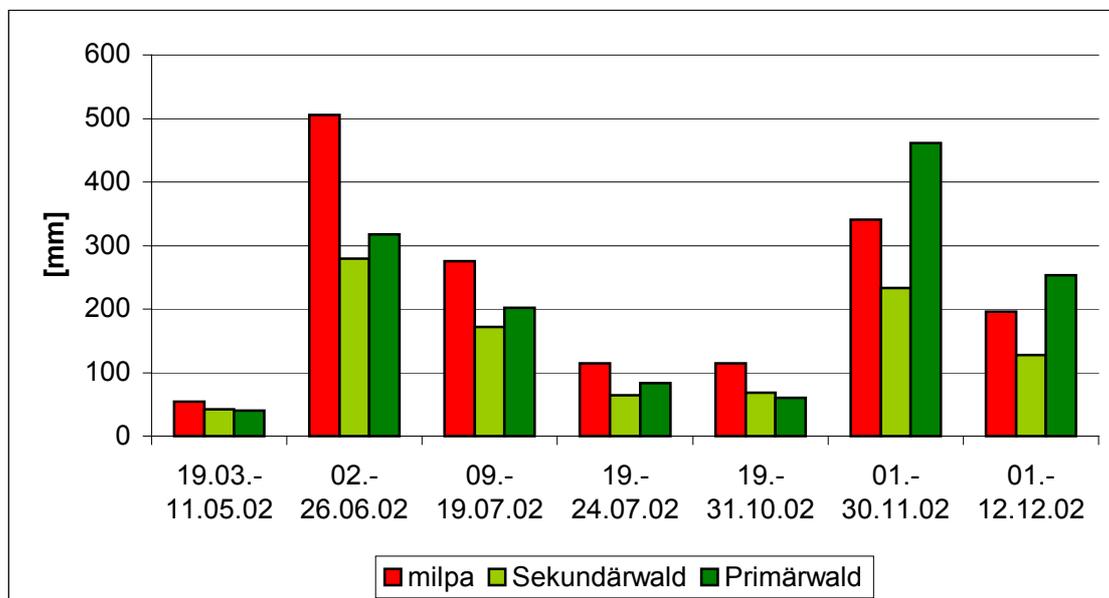


Abbildung 61: Niederschläge im Vergleich in sieben verschiedenen Zeiträumen: *milpa*-System, Sekundärwald und Primärwald

7. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

„Solche großräumigen Rodungen und Störungen von Waldhabitaten sind die bei weitem wichtigste Ursache des Artensterbens in den Tropen.“

(aus: MYERS 1992, S. 47)

Die Ergebnisse im vorangegangenen Kapitel veranschaulichen, dass sich die Abholzung der tropischen Wälder in Guatemala deutlich auf die Bodenprozesse und das Mikroklima in den unterschiedlichen Habitaten wie Primärwald, Sekundärwald und landwirtschaftliche Nutzfläche auswirkt. Im Folgenden werden nun die drei Bereiche Abholzung, Bodendegradation und Veränderung des Mikroklimas in einen größeren Kontext gestellt und mit anderen Forschungsergebnissen verglichen.

7.1 Entwicklung der Waldkonversion

Der Vergleich der beiden Satellitenbilder von 1986 und 2000 für das guatemaltekische Hochland hat offenbart, dass die Abholzung nicht signifikant anstieg. Zwischen 1986 und 2000 sind keine großflächigen Areale der Brandrodung zum Opfer gefallen. Ein Hauptgrund dafür ist die Abgeschlossenheit der Region. Es liegt keine Anbindung an öffentliche Transportmittel vor, so dass auch die Marktanbindung eingeschränkt ist. GRUNBERG et al. (2000) widmen sich in einer Untersuchung im Tiefland Guatemalas der Frage, inwieweit die Faktoren Straßen, Besiedlung und Bodenqualität die Abholzung beeinflussen. In der sehr umfangreichen GIS- und satellitenbildgestützten Modellierung wurde z.B. für jede Bodenfruchtbarkeitsklasse die individuelle Abholzung bestimmt, um potenzielle Abhängigkeiten herauszufinden. Sowohl die Bodenfruchtbarkeit als auch die Präsenz von Straßen und das Vorkommen von menschlicher Besiedlung sind maßgebliche Indikatoren für die Vorhersage von Trends im Hinblick auf die Abholzung (Abbildung 62). Auf gut dränierten, tief verwitterten Böden ist die Abholzung mit 12% im Jahr 1986 am höchsten. Flachgründige, gut dränierte Böden weisen eine Abholzung von 8% auf. Deutlich geringer ist die Abholzung auf armen Böden mit 3 bis 4%. Auf den verarmten Böden steigt die Abholzung deutlich geringer auf 5% im Jahr 1997, wohingegen auf den fruchtbaren Böden bis 1997 24% abgeholzt wurden. Ein vergleichbares raumbasiertes Ursache-Wirkungs-Modell, wie das Transport-/Mobilitätsnetz die Abholzungsraten beeinflusst, wurde auch für Belize erstellt (CHOMITZ & GRAY 1996).

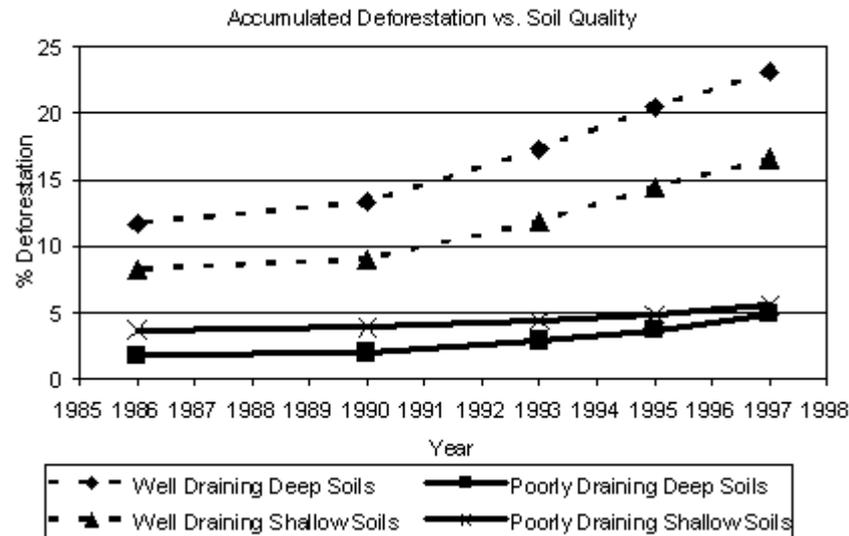


Abbildung 62: Abholzungsdaten auf unterschiedlichen Bodenklassen (aus: GRUNBERG et al. 2000)

Übertragen auf die Untersuchungsregion in der Region Sierra Yalijux bedeutet dies, dass aufgrund des recht hohen Bodenpotenzials theoretisch eine verstärkte Abholzung zu erwarten wäre. Da viele der übriggebliebenen Waldflächen jedoch mittlerweile durch private NGO's geschützt werden, ist eher davon auszugehen, dass der Waldbestand in Zukunft konstant bleibt. Ein Indiz dafür sind die Ergebnisse der Untersuchungen zur Waldkonversion (Kapitel 6.3). Da in den Jahren zwischen 1986 und 2000 kaum primärer Bergnebelwald verloren gegangen ist, ist zu hoffen, dass sich dieser Trend aus optimistischer Sicht auf die zukünftige Entwicklung übertragen lässt. Diese positive Erwartung ist für die Erhaltung von Flora und Fauna von zentraler Bedeutung. RENNER, MARKUSSEN & MÜHLENBERG (2004, i.V.) kommen zu dem Ergebnis, dass der in der Region noch existierende Bergnebelwald bei der derzeitigen nationalen Abholzungsrate von 1,7% in 60 Jahren verloren wäre. Dieses würde innerhalb der kommenden 120 Jahre das Aussterben des Quetzals (*Pharomachrus mocinno*) in der Region bedeuten. Nach Beurteilung der derzeitigen Waldkonversion kann diese Tendenz für das Untersuchungsgebiet nicht festgestellt werden.

Der Straßenbau bzw. die Erschließung ist eine der Hauptursachen für die Abholzung in Guatemala. SADER (1995) und SADER et al. (2001) haben für zwei Untersuchungsgebiete anhand von Landsat-TM-Daten herausgearbeitet, dass für den Zeitraum von 1986 bis 1990 mehr als 90 Prozent der Entwaldung innerhalb einer Entfernung von 3 km von Straßen und Flüssen erfolgte. SADER et al. (1994) berechneten einen Prozentsatz von über 90% der Rodungen, die weniger als 2 km von Straßen entfernt liegen.

Nach SADER et al. (1994) ist der im Tiefland gelegene Nationalpark Tikal nicht von Abholzung betroffen, ein sicheres Zeichen dafür, dass der Schutzstatus sein Ziel erfüllt. Anders wird der ebenfalls im Tiefland gelegene Nationalpark Sierra del Lacandon nach SADER et al. (1997) bewertet. Demnach wohnten dort bereits vor der Parkausweisung Bauern, dessen Anzahl bis heute noch gestiegen ist und somit auch die Entwaldung zugenommen hat. Hier fehlt jegliche Schutzbeobachtung von staatlicher und auch nicht-staatlicher Seite. Von

SADER et al. (1994) wurde für die nördliche Petén-Region eine Abholzungsrate von 0,4% (1986-1990) berechnet sowie eine Neubildungsrate von nur 0,03%, was ein Verhältnis von Abholzung zu Aufwuchs von 12:1 bedeutet.

Die Waldkonversion hat direkte Auswirkungen auf die Artenzusammensetzung. CAVELIER & TOBLER (1998) weisen für einen Bergregenwald Kolumbiens ein sehr viel größeres Artenspektrum nach als für aufgegebene 21-jährige Kiefern- und Zypressenplantagen. Während im ungestörten Wald die Vegetation aus 56 Arten (aus 30 Familien) besteht, sind es in der Kiefernplantage nur 26 Arten (15 Familien) und in der Zypressenplantage nur 18 Arten (10 Familien). Diese Entwicklung ist auch in der Sierra Yalijux zu erwarten: Das Aufforstungsprogramm PINFOR fördert derzeit ausschließlich die Kiefernauaufforstung. Die Anlage einer reinen Monokultur schwächt aber nachweislich die Widerstandsfähigkeit des Waldes gegenüber Schädlingsplagen und extremen Wetterunbilden. Darüber hinaus erreicht die Diversität bei weitem nicht das immense Artenspektrum eines Primärwaldes. Aus diesen Gründen ist die Strategie von PINFOR als ungenügend zu bewerten. Eine Ausweitung des PINFOR-Programms zur Aufforstung von Misch-Laubwäldern ist dringend zu empfehlen. Vor allem vor dem Hintergrund der aktuellen Krisensituation bezüglich des Kaffeeanbaus. Die Marktpreise in Guatemala für den Kaffee sind derzeit so niedrig, dass die Plantagen in den vergangenen Jahren zum Teil nicht mehr geerntet wurden. Es bietet sich an, diese Flächen über das PINFOR-Programm aufzuforsten, um die staatlichen Subventionen in Anspruch zu nehmen (Kapitel 4.3).

Bezüglich des Zusammenhangs zwischen Waldvernichtung und Biodiversität in den Tropen wird bis heute u.a. die Arten-Areal-Kurve von MC ARTHUR & WILSON (1967) als Erklärungsmodell herangezogen. Bei einer Verkleinerung des Areals steigt die Extinktionsrate. Als Faustregel nennt WILSON (1997), dass bei einer Verkleinerung des Areals auf ein Zehntel der ursprünglichen Fläche die Artenzahl um fünfzig Prozent abnehmen wird.

Um Managementstrategien zu entwickeln, die den Schutz natürlicher Ressourcen und die Nutzung durch den Menschen sinnvoll kombinieren (LUGO 2002), sind Geographische Informationssysteme ein geeignetes Mittel (DALE et al. 1998). Durch die Verschneidung der unterschiedlichen Informationsebenen einer Region, wie Waldverteilung, Verbreitung von Flora und Fauna, Siedlungsbereiche, Straßennetz, etc. lässt sich der *Status Quo* sehr gut erfassen. Darauf basierend können zusätzlich Zukunftsszenarien entwickelt werden. Mit Hilfe solcher Datenbanken kann die Ausweisung von Schutzgebieten ganzer Ökosysteme auf modernster wissenschaftlicher Grundlage erfolgen.

Die Bedeutung Geographischer Informationssysteme nimmt immer weiter zu (CAMPANELLA 1993). BEIERKUHNLEIN (1998, 1999a,b) stellt hinsichtlich Forschungsdefiziten und offenen Fragen fest, dass die „Kenntnisse über den Einfluss räumlicher Heterogenität auf ökosystemare Prozesse und Stoffflüsse und resultierend auf die Biodiversität“ gering sind. Ferner können mit Hilfe von GIS „in jüngster Zeit Daten zur Biodiversität mit standörtlichen Daten oder Angaben zur Landnutzung verknüpft werden. Es mangelt jedoch an konkreten

Umsetzungen“. Geographische Informationssysteme sind ein „zentrales Element der Biodiversitätsforschung“, indem physikalische und biologische Daten eines Lebensraumes verknüpft werden, um raumbezogene Informationen z.B. für die Ausweisung von Naturschutzgebieten verwenden zu können (WILSON 1997). In dieser Untersuchung konnte nicht auf umfangreiche, bereits vorliegende Datensätze zurückgegriffen werden, um diese ins GIS zu überführen. Der Naturraum im guatemaltekischen Hochland ist bislang wissenschaftlich nur wenig untersucht worden. Somit wurde mit den in diesem Projekt gewonnenen Daten eine primäre Datengrundlage erst geschaffen.

Die Bergnebelwälder haben nicht nur lokale und regionale Bedeutung, sondern sind auch global von großer Wichtigkeit. Sie stellen einen Speicher für Kohlenstoff aus der Atmosphäre dar (Kohlenstoffsенke). Bei der Photosynthese wird der Kohlenstoff in der Biomasse eingelagert. Durch das Abbrennen der Wälder wird CO₂ freigesetzt. Vor dem Hintergrund der weltweiten Erwärmung (Treibhauseffekt u.a. durch steigende CO₂ Emissionen) ist die Erhaltung der Bergnebelwälder auch von entscheidender Bedeutung für zukünftige Klimaentwicklungen. Durch die Umwandlung der Primärwaldflächen in landwirtschaftliche Nutzflächen ist ein Rückgang der Kohlenstoffvorräte in der Sierra Yalijux von 320 t/ha auf 160 bis 230 t/ha im Oberboden (0-30 cm) nachgewiesen worden. Diese Zahlen beziehen sich nur auf die Bodenkohlenstoffvorräte. Würde man die Kohlenstoffvorräte in der Biomasse, in der Bodenvegetation und im Totholz bestimmen und in die Rechnung einbeziehen, würde sich eine drastische Änderung im Kohlenstoffhaushalt belegen lassen.

Zudem fungieren die Bergnebelwälder als ein gewaltiger Genpool, was auch aktuell an in guatemaltekischen Bergnebelwäldern neu entdeckten Arten deutlich wird (*Polyplax guatemalensis* sp. n.: DURDEN & ECKERLIN 2001, *Capsicum lanceolatum* [Solanaceae]: BOSLAND & GONZALEZ 2000). Dies stellt u.a. einen hohen ökonomischen Anreiz dar, da neue Arten z.B. für die Pharmaindustrie einen unschätzbaren Wert besitzen können und somit auch die Wirtschaft ein langfristiges Interesse an der Erhaltung dieser natürlichen Ressourcen haben sollte.

Die Bergnebelwälder haben außerdem eine wichtige Stellung im Wasserkreislauf. Das Abholzen unterbricht bzw. stört diesen, wodurch auch das regionale Klima verändert wird. Darüber hinaus verfügen die guatemaltekischen Bergnebelwälder über ein großes touristisches Potenzial. Die Attraktivität liegt zum einen in der – gerade für Mitteleuropäer paradiesisch anmutenden – ursprünglichen und noch weitestgehend intakten Naturlandschaft mitsamt der zahlreichen endemischen Arten (Vögel, Schmetterlinge etc.). Zum anderen liegt der Reiz in der Kulturlandschaft mit ihren regionalen Besonderheiten wie den *milpa*-Flächen oder z.B. auch der Verschmelzung traditioneller und christlicher Religionsvorstellungen und -praktiken der Maya-Q'eqchi-Bevölkerung. Ein an die regionalen Eigenheiten angepasster und gelenkter Ökotourismus kann somit zum Schutz der verbliebenen Waldflächen beitragen und den Menschen vor Ort eine lohnende Perspektive geben.

7.2 Pedologische Folgen der Entwaldung

Die Darstellungen im Ergebniskapitel bestätigen, dass mit der Transformierung der Bergnebelwälder in landwirtschaftliche Nutzflächen pedologische Veränderungen einhergehen. Einerseits ist ein Wandel der bodenkundlichen Parameter unmittelbar mit dem Abbrennen der Wälder, andererseits aber auch mit der langandauernden Nutzung im Untersuchungsgebiet von über 100 Jahren verbunden.

Dieses Phänomen ist im gesamten mittelamerikanischen Raum anzutreffen. FISCHER & VASSEUR (2000) behandeln das Abholzungsproblem am Beispiel Panamas. Ähnlich wie in Guatemala ist auch hier ein Rückgang der Waldfläche von 70 (1947) auf 44% (1995) zu verzeichnen. Sie weisen auf das große Potenzial von Agroforst-Systemen für den Erhalt von Biodiversität und Bodenschutz hin. Es gibt zahlreiche Projekte in Panama, die sich den Einsatz von *Alley cropping*, Hausgärten, Windbruchsystemen, Schattenbäumen etc. zum Schwerpunkt gesetzt haben und überwiegend positive Erfahrungen sammeln konnten. Viele dieser Erkenntnisse ließen sich auch auf Guatemala übertragen, denn zum Teil liegen die gleichen geoökologischen Rahmenbedingungen vor. Im guatemaltekischen Hochland wurden bislang jedoch nur wenige Versuche zu alternativen Anbaumethoden unternommen.

Der Kaffee wird in Guatemala häufig in Kombination mit Schattenbäumen angebaut. Vor allem die mit Agroforstsystemen verbundene Anreicherung von Nutz- und Brennholz ist ein deutlicher Vorteil, der den Druck auf umliegende Wälder drastisch reduzieren würde. Darüber hinaus weisen SCHRÖDER & HEUVELDOP (2002) darauf hin, dass agroforstliche Landnutzungssysteme in den Tropen eine höhere biologische Vielfalt als reine Ackerbausysteme besitzen. Beim Anlegen von Agroforstsystemen sollte darauf geachtet werden, Monokulturen möglichst zu umgehen. Das ist auch ein Nachteil des Aufforstungsprogramms PINFOR, welches bislang nur Kiefernauaufforstungen vorsieht (siehe Kapitel 4.3). Es hat jedoch auch in diesem Programm ein Umdenken eingesetzt, so dass mit großer Wahrscheinlichkeit die gegenwärtige Vorgabe aufgehoben wird und in Zukunft auch Mischlaubaufforstungen möglich sein werden.

Diese Notwendigkeit unterstreichen auch EWEL et al. (1991). In einem langjährigen Versuchsaufbau wurden in Costa Rica die Auswirkungen auf die Bodenfruchtbarkeit nach der Waldrodung in unterschiedlichen Anbausystemen untersucht. Nach fünf Jahren war in allen Systemen eine Bodennährstoffabnahme erkennbar, bedingt durch die Pflanzenaufnahme. Die Verringerung der effektiven Kationenaustauschkapazität sowie Zunahme der Säuresättigung standen dabei zur Bewirtschaftung in folgender Beziehung: blanker Boden > Monokultur (Mais) > diverse Sukzessionsgesellschaften. Zwei Faktoren übernehmen bei der Nährstoffsicherung eine Schlüsselrolle: die organische Substanz sowie die Wurzeln. Beide Faktoren würden von Sukzessionsgesellschaften oder auch Agroforstsystemen profitieren.

Ein weiterer Aspekt in diesem Zusammenhang wäre die Bewirtschaftung unter Einsatz von Mykorrhiza. Auf die Bedeutung von Mykorrhiza (ALEXANDER 1989) und die Notwendigkeit des Verständnisses über die Nährstoffkreisläufe unter Agroforst weist GRUBB (1995) hin.

Ebenfalls in Zentralamerika haben ELLINGSON et al. (2000) die Dynamik des Bodenstickstoffs nach der Abholzung untersucht. Nach einer anfänglichen Zunahme des Gesamtstickstoffs im Oberboden von 0,43 auf 0,54% zu Beginn der Studie, verringerte sich der Stickstoffgehalt auf 0,25%. Bemerkenswert ist die Tatsache, dass Feuerintensität keine signifikante Auswirkung auf den N-Gehalt zeigt. Dieses Verhalten ist auch in den guatemaltekischen Bergnebelwäldern zu erkennen. In Abbildung 14 sind die Stickstoffgehalte in Chelemhá von drei vergleichbaren Flächen einheitlichen Alters von ca. 100 Jahren jedoch mit unterschiedlicher Bewirtschaftungsform dargestellt: mit Brand, ohne Brand, mit Bodenschutz seit ca. 8 Jahren. Es zeigt sich, dass nicht der Verzicht zu Brennen sondern die Bodenschutzmaßnahmen einen beachtlichen Beitrag zur Stickstoffanreicherung liefern. Beide Flächen ohne Bodenschutzmaßnahmen wiesen jeweils mit und ohne jährliche Brandrodung einen N-Gehalt von 0,5% auf, mit Bodenschutz hingegen steigt der Wert auf 0,7%.

Bei den Feldarbeiten vor Ort hat sich gezeigt, dass die Umweltbildung einen außerordentlich wichtigen Stellenwert einnimmt. Das Wissen im Hinblick auf ökosystemare Zusammenhänge, Vorgänge im Boden oder die Bedeutung von Agrodiversität ist nur gering ausgeprägt. Auch GROSSMANN (2003) weist für Mexiko darauf hin, dass die Kenntnis der Bauern über Bodenprozesse für einen effektiven und effizienten Anbau von organischem Kaffee entscheidend ist. Basiswissen über Prozesse wie Blätterzersetzung, Kompostierung, Bodenbiologie und biologische Stickstofffixierung sollten vermittelt werden. Erste Bildungsmaßnahmen laufen derzeit auch im Hochland von Guatemala, durchgeführt z.B. von PEQ und UPROBON. Bezüglich der Wechselbeziehung zwischen lokalem Wissen und Biodiversität sei auf CUNNINGHAM (2001) und HELLIER et al. (1999) verwiesen.

Die in Kapitel 6.1.1 dargestellten Ergebnisse weisen im Hinblick auf die Aggregatstabilität keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Landnutzungssystemen auf. Das ist einerseits damit zu begründen, dass die Aggregatstabilität in der Untersuchungsregion sehr hoch ist. Andererseits spielen der hohe jährliche Niederschlag sowie die hohen Gehalte an organischer Substanz eine wichtige Rolle. CERDÀ (2000) kommt in seiner Untersuchung in Bolivien hinsichtlich der Zusammenhänge von Aggregatstabilität, klimatischen Bedingungen und Landnutzung auf eine positive Korrelation zwischen jährlichem Niederschlag und Aggregatstabilität. Nach seinen Beobachtungen gilt der gleiche Zusammenhang auch für die organische Substanz. Gleichzeitig wird jedoch auch ein Unterschied im Hinblick auf die Landnutzung festgestellt: Auf landwirtschaftlichen Flächen sind die Aggregate weniger stabil als unter Buschland. In der vorliegenden Untersuchung beeinflussen die Faktoren Niederschlag und organische Substanz die Wirkung auf die Aggregatstabilität stärker als der Faktor traditionelle Landnutzung.

Vor allem IBÁÑEZ und Mitarbeiter haben in den vergangenen Jahren das Prinzip der ökologischen Biodiversität auf die Diversität von Böden (*Pedodiversity*) übertragen und kommen in diesem Zusammenhang auf ganz ähnliche Strukturen wie in der Ökologie (IBÁÑEZ et al. 1995). Sie erfassen die Heterogenität der Böden mit Hilfe von Biodiversitätsindices

(Vielfalt, Häufigkeit, Evenness). Weiterführende Angaben und Erklärungen zum Konzept der Pedodiversität, ihrer Messung, sowie zu den konträren, z.T. sehr theoretischen Diskussionsansätzen finden sich bei IBÁÑEZ & DE ALBA (1999, 2000), CAMARGO (1999), IBÁÑEZ, DE-ALBA, LOBO & ZUCARELLO (1998) sowie PHILLIPS (2001).

Aufgrund der gewonnenen Ergebnisse der chemischen Bodenparameter kommt vor allem dem Element Phosphor eine wichtige Rolle zu. Es wurden die Gesamtgehalte sowie das verfügbare Phosphor nach Bray untersucht. Hinsichtlich der Entwicklung der Phosphorgehalte innerhalb der falschen Zeitreihen lässt sich ein guter relativer Vergleich zwischen den einzelnen Untersuchungsflächen ziehen. Schwierig gestaltet sich jedoch der Vergleich mit anderen Untersuchungen. NEYROUD & LISCHER (2003) belegen, dass die Resultate in verschiedenen europäischen Laboratorien bei Anwendung gleicher Bestimmungsmethoden zum Teil beträchtliche Unterschiede aufweisen und fordern eine Evaluation der Nachweismethoden und Klassifikationen zur Phosphor-Pflanzenverfügbarkeit. Dieses spiegelt sich auch darin wider, dass es nur wenige Bewertungs- und Klassifikationsnormen für Phosphor gibt. PAGEL et al. (1982) liefert Grenzwerte für den Gesamt-P-Gehalt bei unterschiedlichen N_t -Gehalten.

Bezeichnung bzw. Beurteilung	P _t -Gehalte mg P/100 g Boden		
	bei N _t = 0,1 %	bei N _t = 0,2 %	bei N _t = 0,3 %
Deutlicher P-Mangel	< 12 (360)	< 20 (600)	< 25 (750)
Mittlerer P-Gehalt	~ 20 (600)	~ 35 (1050)	~ 46 (1380)
Gute P-Versorgung	> 46 (1380)	> 90 (2700)	> 125 (3750)

Tabelle 26: Grenzwerte für den Gesamt-P-Gehalt bei unterschiedlichem N_t -Gehalt in Böden Kameruns (Werte in Klammern bedeuten kg P/ha für eine 20 cm mächtige Bodenschicht)

Für das Untersuchungsgebiet ergibt sich im Hinblick auf P_t ein recht uneinheitliches Bild. Tendenziell ist jedoch ein mittlerer P-Gehalt bis hin zu einem deutlichen P-Mangel erkennbar. Die Oberböden in der Region Chicacnab weisen Werte zwischen 250 und 400 mg/kg auf, in Ausnahmen bis 1000 mg/kg. Die Oberböden in Chelemhá sind deutlich besser ausgestattet. Dabei fällt auf, dass die Werte auf den langjährigen Nutzflächen höher sind als unter Primär- oder Sekundärwald.

PAGEL et al. (1982) liefern auch Grenzwerte für pflanzenverfügbares Phosphor. Bei hohem Verwitterungsgrad, wie sie die Böden im Untersuchungsgebiet aufweisen, sind Böden mit P-Gehalten von weniger als 40 mg/kg als niedrig zu klassifizieren. Liegt der Wert über 80 mg/kg ist von einem hohen verfügbaren Phosphorgehalt auszugehen.

Die Ergebnisse der Phosphoranalysen zeigen sowohl für Chelemhá als auch für Chicacnab die Gegenläufigkeit der Phosphorgehalte: Die P_t-Gehalte sind auf den landwirtschaftlichen Flächen größer als unter Primärwald, der Anteil an pflanzenverfügbarem Phosphor ist im Primärwald höher als auf landwirtschaftlich genutzten Flächen. Dieser Antagonismus muss

näher betrachtet werden: Die geologische Situation hat die gleichen Ausgangsbedingungen, die Flächen liegen räumlich nahe beieinander. Bei der genauen Betrachtung der Korngrößenverteilung fällt auf, dass die Tongehalte im Oberboden Chicacnabs schwanken. Der Primärwald hat mit 54% einen recht hohen Tonanteil und gleichzeitig einen geringen P_r-Gehalt von 426 mg/kg Boden. Die *milpa*-Fläche (100 Jahre) hat einen Tonanteil von 23% und einen P_r-Gehalt von 2132 mg/kg Boden. Je größer der Anteil der Tonfraktion, desto geringer ist der Phosphorgehalt. Es liegt die Vermutung nahe, dass der Gesamtphosphor vor allem in der weniger stark verwitterten Sandfraktion gebunden ist und somit den Einfluss der landwirtschaftlichen Nutzung auf die Phosphoreigenschaften der Böden leicht überdeckt. Gleichzeitig besitzen die tonreicheren Böden eine verbesserte Pflanzenverfügbarkeit bezüglich Phosphor. Um genaue Aussagen darüber treffen zu können, wären Nährstoffuntersuchungen notwendig, die die Phosphorgehalte separat für die jeweiligen Fraktionen Ton, Schluff und Sand bestimmen, ebenso wie eine genaue Analyse der Tonminerale.

Im Hinblick auf die Auswirkungen der Landnutzung auf einzelne bodenphysikalische oder bodenchemische Parameter sei auf weitere Untersuchungen verwiesen (LILIENFEIN et al. 1998, MCGRATH et al. 2001, MORAN et al. 2000, PALM et al. 1996, MOSIER 1998, MURAGE et al. 2000). Dass Bodenqualität ein guter Indikator für Bewertung von nachhaltiger Landnutzung ist, verdeutlicht HERRICK (2000). Durch Landnutzung veränderte Bodeneigenschaften haben zum Teil direkte Auswirkungen auf die Bodenflora und -fauna. So weisen MA (1982) und GESTEL et al. (1995) nach, dass eine zunehmende Kationenaustauschkapazität der Böden z.B. verminderte Gehalte der Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer, Zink und Nickel in Regenwürmern bewirkt, hohe Schwermetallgehalte wirken sich vor allem auf die Sukzession aus (MEYER & BELOTTI 2000). In den Böden der vorliegenden Untersuchungsregion liegen jedoch keine übermäßigen Schwermetallgehalte vor, so dass Einschränkungen bezüglich der Sukzessionsbedingungen nicht zu vermuten sind. Ertragsbezogene Toxizitätsgrenzen von Cadmium in Böden liegen nach MEYER & BELOTTI (2000) für Mais bei 30 mg CD / kg TS Boden und für Bohne bei 10-30 mg CD / kg TS Boden. Cadmium konnte in keiner Bodenprobe nachgewiesen werden. Somit sind keine Ertragsdepressionen zu erwarten.

Die Tabelle 27 verdeutlicht für die Oberböden in guatemaltekischen Bergnebelwäldern im Vergleich zu anderen Bergnebelwaldstandorten sehr hohe Kohlenstoff- und Stickstoffwerte. Ähnlich hohe Gehalte weist TANNER (1977) in Jamaica mit 47% nach.

Quelle	Ort/Standort	Bodentiefe [cm]	C [%]	N [%]	C/N-Verhältnis
diese Untersuchung	Primärwald (Chelemhá)	0-20	55,1	2,1	27
		20-30	13,2	0,5	27
		30-55	4,8	0,2	31
		55-100	1,6	0,1	25
		100-130	1,2	0,1	24
	Primärwald (Chicacnab)	0-10	35,2	1,8	19
		10-19	8,2	0,6	13
		19-40	2,3	0,2	10
		40-100	0,6	0,1	6
	Primärwald (Mestelá)	0-30	35,7	1,4	25
30-60		5,0	0,2	24	
PAYTON (1993) zit. n. Bruijnzeel & Proctor 1995	Indonesien, Seram	0-11	14,8	0,4	37
ZINCK (1986)	Venezuela, PN „Henri Pittier“	0-11	3,8	0,34	11
TANNER (1977)	Jamaica, ‚Mor Ridge‘	0-10	47,4	1,6	30

Tabelle 27: C- und N-Gehalte in tropischen und subtropischen Bergnebelwäldern

CAVELIER (1995) verdeutlicht mit einer Arbeit in den Bergnebelwäldern Kolumbiens, wie stark die Bodeneigenschaften unter Primärwald, Sekundärwald und *Alnus*-Plantage variieren. Die größten Unterschiede bei den physikalischen Bodeneigenschaften liegen im Wasserspeichervermögen. Im Primärwald liegen die höchsten Werte mit 71,8% vor, die niedrigsten in der *Alnus*-Plantage mit 8,8% (Tabelle 28). Die pH-Werte variieren von Primärwald pH 3,6, *Alnus*-Plantage pH 4,6 zu Sekundärwald pH 5,5. Außerdem werden im Primärwald höhere Kationenaustauschkapazitäten höhere Kohlenstoffgehalte (Tabellen 29 und 30) ermittelt. CAVELIER kommt daraufhin zu dem Ergebnis, dass sich bezüglich der Bodenfruchtbarkeit eine klare Abfolge feststellen lässt: Primärwald > Sekundärwald > *Alnus* Plantage.

	Sand	Schluff (%)	Ton	pH (1:1)	Al (meq/100g)	H ₂ O (%)
AP	54,6 (5,0)	38,6 (4,1)	6,6 (3,0)	4,6 (0,28)	1,3 (0,6)	8,8 (4,0)
SF	66,6 (3,0)	26,6 (2,3)	6,6 (1,1)	5,5 (0,30)	0,2 (0,3)	20,8 (4,7)
PF	72,6 (4,1)	21,3 (3,0)	6,0 (3,4)	3,6 (0,20)	5,6 (1,7)	71,8 (9,6)

Tabelle 28: Mittelwerte und Standardabweichung verschiedener Parameter in *Alnus* Plantage (AP), Sekundärwald (SF) und Primärwald (PF) in Kolumbien (CAVELIER 1995)

	KAK	Basen _{gesamt}	Ca (meq/100g)	Mg (meq/100g)	K	Na	BS (%)
AP	44,0 (2)	11,3 (3,5)	9,8 (3,1)	0,9 (0,5)	0,5 (0,1)	0,1 (0,0)	25,7 (7)
SF	58,0 (8)	30,6 (2,8)	24,5 (1,7)	5,0 (3,3)	0,9 (0,1)	0,1 (0,0)	51,9 (10)
PF	107,5 (34)	18,6 (2,5)	13,9 (2,0)	3,3 (0,5)	1,2 (0,3)	0,2 (0,0)	18,1 (4)

Tabelle 29: Chemische Eigenschaften eines Bergnebelwaldes in Kolumbien in *Alnus* Plantage (AP), Sekundärwald (SF) und Primärwald (PF) in Kolumbien (CAVELIER 1995)

	NH ₄	NO ₃	PO ₄	C (%)
	(µg/g Trockengewicht)			
AP	9,3 (2,3)	11,8 (0,4)	4,1 (0,5)	14,0 (0,9)
SF	11,9 (1,0)	16,5 (1,1)	5,2 (0,1)	15,3 (3,2)
PF	28,0 (4,4)	50,7 (1,8)	14,7 (0,6)	29,7 (10,0)

Tabelle 30: Übersicht der Konzentrationen von NH₄, NO₃, PO₄ und Kohlenstoff in *Alnus* Plantage (AP), Sekundärwald (SF) und Primärwald (PF) in Kolumbien (CAVELIER 1995)

Laut RICHTER & MARKEWITZ (2001) werden nach landwirtschaftlicher Nutzung vor allem folgende Parameter beeinflusst: Stickstoff, austauschbares Kalzium, Basensättigung und Boden-pH. Sehr viel weniger stark betroffen sind Phosphor und Kohlenstoff. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie, in der vor allem Kohlenstoff aufgrund der anthropogenen Einflüsse auf lange Zeit deutliche Gehaltsänderungen zeigt.

Im westlichen Guatemala werden laut UNEP (1999) im Naturwald wachsende native Pflanzen als Quelle für organisches Material verwendet, um Grenzertragsböden mit der Blattstreu zu düngen. Dadurch sollen Feld- und Ackerbau sowie das Wasserrückhaltevermögen verbessert werden. Manche Bauern wenden demnach mehr als 40 Tonnen Blattstreu pro ha und Jahr an. Schätzungen verweisen auf einen Bedarf an Blattstreuproduktion von 10 ha Wald pro ha Ackerland (WILKEN 1987), was einen erheblichen Eingriff in die Waldökosysteme nach sich zieht.

In einer Studie in Belize untersucht EATON (2001) mikrobielle und Nährstoff-Aktivitäten in Böden von drei verschiedenen Waldhabitaten unmittelbar vor der Trockenzeit sowie während der Übergangszeit von der Trocken- zur Regenzeit. Er kam zu dem Ergebnis, dass es nach Einsetzen der Regenzeit vor allem zum Anstieg von pH, Feuchtigkeit, organischem Kohlenstoff, Nitrifikationsrate, mikrobieller Biomasse und Verringerung von Nitrat kommt. Diese Änderungen sind vor allem durch Einwaschung von organischem Material in den Waldboden bedingt. Die Verringerung von Nitrat beruht in erster Linie auf *leaching*-Effekten, Oberflächenabfluss vom Boden sowie Mobilisierung durch Pflanzen und Mikroben. Ein hoher Anteil an Dreischicht-Tonmineralen sorgt für eine höhere Verfügbarkeit von Nährstoffen.

WAID (1999) betont, dass viele Bodenqualitätsschutzmaßnahmen (z.B. Agroforst, Mulching, Inokulation von Leguminosen, Minimum Tillage) Einsatzmöglichkeiten von metabolischen Techniken sind, welche die Bodenbiodiversität und ihre funktionellen Eigenschaften erhalten

bzw. verbessern. Gleichzeitig hebt er hervor, dass eine zwangsläufige Verringerung von Tier- und Pflanzenarten gegeben ist, wo Ökosysteme durch menschliche Aktivitäten (z.B. Waldzerstörung, Bewässerung mit salzhaltigem Wasser, Tagebau, tiefe Bodenbearbeitung) degradiert wurden. Flächendeckende Brandrodung und *slash-and-burn* führen zu einer Verringerung der Bodenqualität allgemein, die von Biodiversitäts- und Funktionsverlust der Makrobiota begleitet wird.

SAIKH et al. (1998) liefern vergleichbare Ergebnisse hinsichtlich der Bodenveränderungen von Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor nach Abholzung und landwirtschaftlicher Nutzung. In einem Nationalpark in Indien wurde eine ‚falsche Zeitreihe‘ von bis zu > 100 Jahren untersucht, wodurch nachgewiesen wurde, dass Abholzung und landwirtschaftliche Nutzung eine statistisch nachweisbare Verringerung von C_{org} , N_t sowie des C:N-Verhältnisses bewirkt. Hingegen weisen die Gehalte an P_t und P_{bray} keine Veränderungen auf. Landwirtschaftliche Nutzung führt also nicht automatisch zu einem P-Verlust. Die Verhältnisse von C zu P sowie N zu P verringern sich ebenfalls mit zunehmender Landnutzung. Die signifikante Korrelation zwischen C_{org} und P lässt vermuten, dass ein Großteil an Phosphor in anorganischer Form vorliegt. Der Trend des durchschnittlichen N-Gehalts in der Untersuchung von SAIKH et al. (1998) ist: immergrüner Wald (0,49%) > laubabwerfender Wald (0,32%) > Grasland (0,23%) > kultiviertes Land (0,16%).

Im Vergleich zu den Daten der vorliegenden Untersuchung ist die Bodenfruchtbarkeit in den guatemaltekischen Bergnebelwäldern als hoch einzustufen. Hinsichtlich des N-Gehalts werden im Untersuchungsgebiet unabhängig von der Landnutzung N-Werte von durchschnittlich 0,59% (Chelemhá), 0,44% (Chicacnab) und 0,37% (Mestelá) erreicht, und liegen somit auf einem sehr hohen Niveau.

Der Mittelwert des Kohlenstoffgehaltes liegt bei 9%, das statistische Mittel der Stickstoffgehalte bei 0,5%. Nach PAGEL (1982) und im Vergleich mit anderen Bergnebelwaldregionen sind die Gehalte als sehr hoch einzustufen, was auf eine hohe Bodenfruchtbarkeit schließen lässt (siehe auch Tabelle 27). Zum Vergleich zeigt die Tabelle 31 eine Auswahl tropischer Bergnebelwälder mit verschiedenen Bodentypen und ihren chemischen Eigenschaften.

Ort	Höhe	Bodentyp	Horizont & Tiefe [cm]	pH	C [%]	N [%]	P _{total} [ppm]	P _{extra} [µg/g ⁻¹]	K	[m equivs 100/g ⁻¹]				KAK	BS [%]	Autor
										Na	Ca	Mg				
Kolumbien, Cordillera Central	2500	-	-	4,0	-	-	-	-	0,3	0,1	1,2	0,8	-	-	VENEKLASS (1990)	
	3550	-	-	4,7	-	0,9	-	-	0,3	0,2	1,3	1,3	-	-		
Kolumbien, Macuira	600	-	A, 0-20	-	1,76	0,26	2,0	-	0,3	0,9	2,0	2,4	13,3	-	CAVELIER (1988)	
Costa Rica,	1500	Humitropept	A _h , 0-22	3,2	12,0	-	-	12,9	0,38	0,38	1,72	0,94	100,7	3,4	GRIEVE et al. (1990)	
Volcán Barva	2000	Tropofibris	O _f , 0-15	3,9	16,2	-	-	4,7	0,34	0,31	0,56	0,51	88,3	1,9		
	2600	Vitrandept	O _h , 0-10	3,3	17,2	-	-	55,7	1,30	0,31	17,0	9,8	113	25,1		
Jamaica, ,Mor Ridge'	1550	-	0-10	3,0	47,4	1,6	-	-	0,90	0,69	0,39	11,3	185	7	TANNER (1977)	
,Mull Ridge'	1550	-	0-8	3,7	29,2	1,7	-	-	1,38	0,51	6,05	6,1	120	12		
,West Slope'	1550	-	0-10	4,0	3,9	0,35	-	-	0,80	0,18	6,18	3,9	29	38		
,Gap'	1550	-	0-10	4,4	9,0	0,52	-	-	0,32	0,08	1,57	0,44	37	7		
Venezuela, PN ,Henri Pittier'	1170	Typic Dystropept	0-11	4,9	3,8	0,34	-	6	0,18	0,08	0,5	0,7	16,6	8,8	ZINCK (1986)	
	1160	Typic Tropohumult	0-15	4,7	6,4	0,44	-	6	0,21	0,09	0,7	0,7	21,9	7,8		
	1680	Typic Tropohumult	0-11	4,4	4,3	0,34	-	9	0,26	0,07	0,7	0,6	14,3	11,4		
	1670	Typic Tropohumult	0-17	4,8	3,6	0,25	-	8	0,27	0,06	0,8	0,9	15,2	13,3		
	1580	Typic Tropohumult	0-16	4,7	3,8	0,29	-	3	0,31	0,17	1,33	0,40	15,7	14,1		
Venezuela, Santa Ana	600	-	A, 0-12	-	2,51	0,29	7,0	-	0,6	0,9	9,3	4,9	17,9	88	CAVELIER (1988)	
				-	4,29	0,48	4,0	-	0,6	1,7	4,1	2,4	19,6	45		
Copey	600	-	A, 0-12	-	2,3	0,28	6,0	-	0,2	0,3	1,6	2,5	17,1	27		
				-	2,5	0,21	6,0	-	0,1	0,2	1,4	1,6	14,3	23		
Zumbador	3100	-	A, 0-25	-	20,6	1,10	31,0	-	0,6	0,2	0,3	0,3	80,0	1,8		
Venezuela, Andes Occidentales	2300	-	0-20	3,5	5,5	0,45	500	-	0,43	0,1	1,3	0,59	17,5	14	GRIMM AND FASSBENDER (1981)	

Tabelle 31: Auswahl tropischer Bergnebelwälder mit verschiedenen Bodentypen und ihren chemischen Eigenschaften (nach BRUIJNZEEL & PROCTOR 1995)

7.3 Klimatische Aspekte

Die Darstellung der mikroklimatischen Ergebnisse im Kapitel 6.3 hat gezeigt, dass deutliche Unterschiede im Hinblick auf Luft- und Bodentemperatur, relative und absolute Luftfeuchtigkeit, Taupunkt und (Bestands-) Niederschlag vorliegen. Dies führt zu unterschiedlichen Habitatbedingungen und beeinflusst maßgeblich die Biodiversität. So weist beispielsweise auch GOTTSCHALK (2002) in seiner avifaunistischen Untersuchung im Serengeti Nationalpark in Tansania nach, dass die regionale Varianz der Niederschläge sowie die Strukturmerkmale des Graslandes einen wichtigen Beitrag für die Habitatpräferenzen der dort vorkommenden Vogelarten liefern.

Potenzielle Effekte von klimatischen Veränderungen auf Epiphyten in tropischen Bergnebelwäldern untersuchen NADKARNI & SOLANO (2002) in einem experimentellen Ansatz. Sie belegen, dass eine Verringerung des verfügbaren Nebelwassers zu einer signifikant höheren Blattmortalität, einer niedrigeren Blattproduktion und somit zu einer verringerten Langlebigkeit führen. In der vorliegenden Untersuchung wurde gerade der Aspekt der relativen Luftfeuchtigkeit in den verschiedenen Habitaten deutlich. Der Primärwald weist eine signifikant höhere Luftfeuchtigkeit auf als im Sekundärwald und auf landwirtschaftlichen Nutzflächen (siehe Abbildung 58). Es ist somit zu erwarten, dass diese Unterschiede sich auf die von NADKARNI & SOLANO (2002) genannten Parameter ebenfalls in guatemaltekischen Bergnebelwaldgebieten auswirken.

Auch PRIMACK (1995) weist darauf hin, dass sich ein verändertes Mikroklima erheblich auf die Vitalität und das Spektrum der Arten in einem Biotopfragment auswirken kann. Flora und Fauna sind häufig an ganz bestimmte Temperatur-, Feuchte- und Lichtbedingungen angepasst. Durch die zunehmende Waldfragmentierung verlieren die Habitate folglich viele Arten aufgrund der mikroklimatischen Veränderungen.

Zur historischen Vegetations- und Klimaentwicklung im Untersuchungsgebiet liegen keine Daten vor. Für das guatemaltekische Tiefland hingegen gibt es detaillierte Studien, welche dokumentieren, dass z.B. vor 5000 Jahren deutlich trockenere Bedingungen herrschten (ISLEBE & HOOGHIEMSTRA 1997). Die Klimaveränderungen der letzten 4000 Jahre im Tiefland von Guatemala haben ROSENMEIER et al. (2002a, 2002b) am Beispiel von limnischen Ablagerungen untersucht. Sie weisen für die Zeit zwischen 1700 v. Chr. und 850 n. Chr. Maya-induzierte Entwaldung und folglich eine verstärkte Bodenerosion nach. Nach 850 nimmt die Erosion wieder ab, aufgrund des Zusammenfalls des Maya-Reiches, der damit einhergehenden Abnahme der Bevölkerung und der weniger intensiven Landnutzung in der Folgezeit.

Die direkten Auswirkungen der mikroklimatischen Veränderungen auf die Diversität von zum Beispiel Bodenlebewesen wurde im Rahmen dieser Untersuchung nicht bestimmt. Hier besteht insbesondere für die guatemaltekischen Bergnebelwälder ein hoher Forschungsbedarf.

Es ist davon auszugehen, dass im Hinblick auf die Bodenfauna beim direkten Vergleich von den Habitaten Primärwald, Sekundärwald und landwirtschaftlichen Nutzflächen große Diversitätsunterschiede existieren. Bodenfeuchte und Bodentemperatur stellen dafür ausschlaggebende mikroklimatische Faktoren dar.

7.4 Ressource Boden in der Biodiversitätsstrategie

Zahlreiche Untersuchungen liefern Beiträge zu Einfluss und Bedeutung von Biodiversität sowie ihrer Funktion innerhalb von Ökosystemen. Welche Gewichtung der biologischen Vielfalt dabei zukommt und wofür genau diese innerhalb des Systems verantwortlich ist, ist in vielen Bereichen noch unklar (ANDRÉN & BALANDREAU 1999, RUITER 1998 et al.). Was sind die Effekte der Biodiversität auf die Bodenfunktionen und welche Rolle spielen die Bodenfunktionen für die Aufrechterhaltung der biologischen Vielfalt? Unumstritten ist, dass Veränderungen der Bodenstruktur und -zusammensetzung zu Habitatsveränderungen führt und folglich auch zu Veränderungen der Zusammensetzungen von Flora und Fauna. Die vorliegende Arbeit zeigt, dass mit der traditionellen Landnutzung der Maya-Q'eqchi-Bevölkerung in den Bergnebelwaldgebieten Guatemalas offensichtliche pedoökologische Veränderungen verbunden sind, die Auswirkungen auf verschiedene Bodenfunktionen nach sich ziehen. Im Hinblick auf eine nachhaltige Bodennutzung und auch auf die Erhaltung der Biodiversität ist der Schutz von Bodenfunktionen dringend erforderlich. In diesem Kontext liefert die Implementierung der Ressource Boden in die Biodiversitätsstrategie Guatemalas eine gute Möglichkeit, durch die gesetzliche Verankerung eine langfristige Verbesserung zu gewährleisten.

Die Bodendegradation als wohl gravierendstes Umweltproblem ist bereits in der AGENDA 21 integriert, genauso wie auch im Aktionsprogramm 2015 der Bundesregierung als Beitrag zur weltweiten Halbierung extremer Armut. Eine Implementierung in die nationale Biodiversitätsstrategie der einzelnen betroffenen Länder, wie in diesem Falle Guatemala (ENB 1999b), würde zudem auf lokaler sowie regionaler Ebene Handlungsanweisungen geben können, um somit der Bodendegradation und gleichzeitig der damit einhergehenden Verringerung der Biodiversität entgegenzuwirken.

Die Ressource *Wasser* ist bereits in der Biodiversitätsstrategie verankert. Im Aktionsplan werden Managementempfehlungen gegeben. Auf die Regulierung des Wasserkreislaufs und auf die Gefahr der Kontaminierung wird gezielt hingewiesen. Das gleiche gilt für die Ressource *Wald*. Als Lebensraum für Flora und Fauna kommt dem Wald in der nationalen Strategie eine besondere Rolle zu. Die Gesichtspunkte der Bodendegradation hingegen sind bislang nicht verankert. Bodenschutz, Auswirkungen der Degradation auf die biologische Vielfalt, Boden als Lebensraumfunktion sowie als Wasserhaushalts-, Klimaschutz- und Produktionsfunktion sind wichtige Punkte, die Eingang ins Gesetz finden sollten. In Deutschland ist dieses bereits lange der Fall: Das Bundesbodenschutzgesetz definiert den Zweck der nachhaltigen Sicherung oder Wiederherstellung der Bodenfunktionen.

In der nationalen Biodiversitätsstrategie Guatemalas sind die Aspekte der Ressource Boden sowie die Auswirkungen der Bodendegradation auf die biologische Vielfalt bislang noch nicht gesichert. Im Jahre 2004 wird eine neue Auflage der nationalen Strategie erstellt werden. Die Implementierung der Bodenfunktionen in die Biodiversitätsstrategie würde einen guten Beitrag für die nachhaltige Bodennutzung und den Schutz von Biodiversität in Guatemala liefern.

8. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Böden sind jedoch sehr viel mehr als nur zertrümmertes Gestein. Sie sind komplexe Ökosysteme aus umfangreichen, in einem störungsanfälligen Gleichgewicht eingebundenen Gemeinschaften von Pflanzen, winzigen Tieren, Pilzen und Mikroorganismen, zwischen denen Nährstoffe in Form von Lösungen und winzigen Partikeln zirkulieren.

(aus: WILSON, 1997, S. 373)

Der Wissenschaftliche Beirat der Bundesregierung „Globale Umweltveränderung“ formuliert die zentrale Frage: „Wie kann die Ernährung weltweit gesichert und zugleich die anthropogene Nutzung der Böden, von Flora und Fauna so gestaltet werden, daß sie standortgerecht, nachhaltig und umweltschonend ist?“ (WBGU 1994). Die Verknüpfung von Schutz auf der einen und Nutzung auf der anderen Seite mit „wachsenden Erträgen pro Flächeneinheit“ (WBGU 1994), sind Bestandteil einer Lösung auch im Sinne des Übereinkommens über die biologische Vielfalt. Speziell für den Bereich der Bergnebelwälder Guatemalas bedeutet dieses eine Unterschutzstellung der noch vorhandenen Waldflächen, um eine weitere Waldkonversion zu verhindern. Gleichzeitig gilt es aber, mit Hilfe von Bodenschutzmaßnahmen die bereits vorhandene Nutzung der Böden möglichst nachhaltig zu gestalten. Die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Forschungsergebnisse verdeutlichen die gravierenden Veränderungen durch anthropogene Einflüsse.

Zusätzliche Einkommensquellen für die Bauern in Form von Ökotourismus, Produktion von Naturkerzen, höherer Produktivität durch alternative Anbauformen, Erhöhung der Agrobiodiversität oder Anbau neuer Marktfrüchte in Verbindung mit einer verbesserten Vermarktungsstrategie in der Landwirtschaft sollten gefördert werden, um gleichfalls der Armut der ländlichen Bevölkerung entgegenzuwirken. Bei der Ausweisung von Schutzgebieten sollten partizipative Ansätze zur Einbeziehung der betroffenen Bevölkerung angewandt werden. Im Vordergrund sollte weiterhin eine Sensibilisierung der Kinder bereits im Grundschulalter für den Naturschutz und die Wertschätzung ihrer natürlichen Ressourcen stehen, um damit das ökologische Bewusstsein zukünftiger Multiplikatoren zu schärfen.

Zusammenfassend lassen sich folgende Punkte als richtungsweisende Empfehlung für Politik im Allgemeinen und Ressourcenschutz im Speziellen in Guatemala ableiten:

- (a) Privater Naturschutz, durchgeführt von NGO's oder Privatpersonen, ist in Guatemala ein sehr hilfreiches Instrument, um die Belange des Übereinkommens über die biologische Vielfalt zu realisieren.
- (b) Wiederaufforstung durch staatliche Programme sowie Ausgleichsmaßnahmen zur Förderung natürlicher Sukzession auf Bracheflächen stellen einen sehr guten Ansatz dar, um eine positive Bilanz hinsichtlich einer nachhaltigen Nutzung in tropischen Regionen

zu erreichen. Es wird empfohlen, das Aufforstungsprogramm PINFOR im Hinblick auf die Aufforstung von Laubwäldern auszudehnen. Bislang werden den Teilnehmern nur Aufforstungen mit *Pinus maximonii* finanziell vergütet. In den Bergnebelwäldern Guatemalas wäre eine an die Klimaxvegetation angelehnte heterogene Laubwaldaufforstung anzuraten, die auch der Ausweitung von Monokulturen entgegenwirkt.

- (c) Alternative Anbauformen zur herkömmlichen Landbewirtschaftung, die gleichzeitig die landwirtschaftliche Produktivität steigern, sind Grundvoraussetzungen für den Schutz benachbarter naturnaher Ökosysteme. Durch dauerhafte nachhaltige Bodennutzungssysteme können die Bedingungen für einen verringerten Flächenverbrauch und die damit einhergehende *in-situ*-Erhaltung der biologischen Vielfalt in Guatemala verbessert werden.
- (d) Einbringung der Ressource Boden in die nationale Biodiversitätsstrategie Guatemalas führt zu einer stärkeren Gewichtung der Wahrung unterschiedlicher Bodenfunktionen, die für eine geoökologische Stabilität von Ökosystemen eine wichtige Voraussetzung sind. Eine gesetzliche Verankerung gewährleistet einen langfristigen Schutz.

Die Perspektiven zum Erhalt der Biodiversität in Guatemala werden als positiv bewertet. Zwar gibt es zahlreiche problematische Rahmenbedingungen wie z.B. die immer noch mit 1,7% bezifferte nationale Abholzungsrate pro Jahr. Auf regionaler Ebene hingegen sind Erfolge zu verzeichnen, denn regionale bzw. lokale Projekte wie PEQ und UPROBON zeigen, dass Möglichkeiten existieren, die Belange des Biodiversitätsschutzes durchzusetzen und zu erreichen. Die nur minimale Abholzung in dem Untersuchungsgebiet zwischen 1986 und 2000 lässt positiv in die Zukunft blicken. Der Kauf von Waldflächen durch kleine NGO's stellt in diesem Sinn einen wichtigen Schritt mit großer Reichweite für den Schutz natürlicher Ressourcen dar.

Die Voraussetzungen und das Potenzial für den Erhalt der Biodiversität in Guatemala sind vorhanden. Dessen ungeachtet muss verstärkt in umweltpolitische Projekte mit konkreten Umsetzungen im Hinblick auf den Ressourcenerhalt auf lokaler und regionaler Ebene investiert werden.

9. ZUSAMMENFASSUNG

Waldkonversion und Bodendegradation in Bergnebelwaldgebieten Guatemalas (Alta Verapaz)

Ein Beitrag zur Biodiversitätsforschung in sensiblen tropischen Ökosystemen.

Die naturräumliche Lage Guatemalas hat dazu geführt, dass sich hier im Hinblick auf die Artenvielfalt ein *hotspot* mit besonders hoher Schutzpriorität entwickelt hat. Aufgrund der hohen Abholzungsrate in Guatemala sind vor allem die guatemalteckischen Bergnebelwälder in den vergangenen Jahrzehnten sehr stark unter Druck anthropogener Einflüsse geraten. Die jährliche Abholzungsrate von 1,7% auf nationaler Ebene verdeutlicht die Gefährdung.

Zudem sind mit der traditionellen Landnutzung der Maya-Q'eqchi-Bevölkerung in den Bergnebelwaldgebieten Guatemalas prägnante pedoökologische Veränderungen verbunden, die Auswirkungen auf verschiedene Bodenfunktionen nach sich ziehen. Im Hinblick auf eine nachhaltige Bodennutzung und die Erhaltung der Biodiversität ist der Schutz von Bodenfunktionen dringend erforderlich. In diesem Kontext liefert die Implementierung der Ressource Boden in die Biodiversitätsstrategie Guatemalas eine gute Möglichkeit, durch die gesetzliche Verankerung eine langfristige Verbesserung zu gewährleisten.

Im Rahmen dieser Arbeit sind zum einen die Prozesse der Waldkonversion, Zunahme der Fragmentierung sowie die Quantifizierung der Landschaftsveränderung dokumentiert worden. Zum anderen ist das Landnutzungspotential in den unterschiedlichen Landnutzungssystemen anhand der Bodenfruchtbarkeit bestimmt worden. Die Erkenntnisse dieser Untersuchung zur Waldkonversion und Bodendegradation in den Bergnebelwäldern Guatemalas geben Aufschluss über die realen und potenziellen Folgeerscheinungen auf die Biodiversität. Der Umfang und die Komplexität dieser Arbeit tragen zur Vervollkommnung der Kenntnisse über das Ökosystem der Bergnebelwälder bei und erlauben Rückschlüsse auf ähnliche Naturräume Zentralamerikas.

Folgende Fragestellungen und Zielsetzungen lagen dem Forschungsprojekt zugrunde:

- Quantifizierung der Prozesse der Waldkonversion, Landschaftsveränderung und Analyse der Landnutzungsdynamik. Welche durch menschliche Aktivitäten hervorgerufene Umweltveränderungen liegen vor?
- Agrarökologische Bewertung und Analyse der Qualität und des Nutzungspotenzials der Böden im Untersuchungsgebiet mittels bodenphysikalischer, bodenchemischer und bodenbiologischer Analytik. Ist eine Degradation des Bodens durch die traditionelle landwirtschaftliche Nutzung der Q'eqchi-Bevölkerung eingetreten?
- Wenn dem so ist, welche Konsequenzen lassen sich daraus zur Vermeidung zukünftiger Bodendegradation folgern? Lässt sich eine Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit bei Änderung der Nutzungsform erwarten oder gar nachweisen?

- Welche mikroklimatischen Veränderungen liegen aufgrund der Waldkonversion vor? Ein Vergleich von Primärwald, Sekundärwald und *milpa*-System.
- Beschreibung der Landnutzung der Maya-Q'eqchi-Bevölkerung, im Besonderen der Landrodung sowie des Anbaus und der Bewirtschaftung, vor allem im Hinblick auf die Unterschutzstellung von Gebieten.
- Lässt sich die Thematik „Bodendegradation“ in der Neuauflage der nationalen Biodiversitätsstrategie Guatemalas 2004 verankern?

Eingebunden in die umfangreichen Untersuchungen zur Wertschätzung und Erhaltung von Biodiversität sind u.a. über die Auswertung einer falschen Zeitreihe die Auswirkungen des traditionellen Anbaus auf die Bodenfunktionen untersucht worden. Die Veränderungen der bodenchemischen, -physikalischen sowie -biologischen Parameter werden aufgrund folgender Analysen determiniert: C_t , C_{org} , N_t , pH (H_2O , KCl und $CaCl_2$), Elektrische Leitfähigkeit, P_t und $P_{verf.}$, effektive Austauschkapazität ($KAK_{eff.}$: Na, K, Mg, Ca, Mn, Fe, Al, H^+), Totalgehalte (Na, K, Ca, Al, Cu, Mg, Mn, Zn und Fe), Korngrößenverteilung, Lagerungsdichte, Wassergehalt, Zelluloseabbau im Boden.

Die Ermittlung der Waldflächenverteilung erfolgt durch Auswertung zweier Landsat-TM und -ETM-Szenen vom 14.04.1986 und 23.01.2000 mit Hilfe der Software ENVI 3.2 mittels geeigneter Klassifizierungsfunktionen. Der Einfluss von NGO's und staatlichen Schutzprojekten in den letzten Jahren führte im Untersuchungsgebiet partiell zu einer verbesserten Bodennutzung und damit Verringerung des Rodungsdruckes auf die Nebelwaldrestbestände. Im Zeitraum von 1986 bis 2000 ist eine geringe Zunahme der Waldfläche zu verzeichnen. Kritisch gesehen ist diese Änderung jedoch z.T. mit unumgänglichen methodischen Fehlerquellen zu erklären. Die Zahlen verdeutlichen allerdings grundsätzlich, dass die aktuelle Abholzung in der Region nur minimal ist. In den Randzonen der Waldflächen ist zwar ein geringes Fortschreiten der Waldrodung zu identifizieren, die Abholzungsraten liegen jedoch weit unterhalb des nationalen Durchschnitts von Guatemala in Höhe von 1,7%.

Das Bodenpotenzial in den untersuchten Bergnebelwaldregionen ist als sehr hoch einzustufen. Die Bodenfunktionen sind durch die intensive traditionelle Landnutzung der Q'eqchi-Bevölkerung dennoch stark beeinträchtigt. Vor allem der Verlust von organischer Substanz und damit von N und P stellt ein gravierendes Problem dar. Es zeichnet sich ein deutlicher Gradient hinsichtlich der bodenchemischen Fruchtbarkeit in den unterschiedlichen Habitaten ab: Primärwald > Sekundärwald > *milpa*-System (15 Jahre > 25 Jahre > 60 Jahre). Auch anhand der effektiven Kationenaustauschkapazität ($KAK_{eff.}$) sind starke Veränderung der bodenchemischen Parameter aufgrund des traditionellen Maisanbaus erkennbar. Die höchsten Werte sind unter Primärwald sowie Sekundärbusch (*Guamil*) gegeben, eine deutliche Verringerung zeigt sich hingegen auf den traditionellen Maisflächen (*milpa*-System). Bracheflächen nach lang anhaltender Bewirtschaftung weisen zunächst keine signifikante Verbesserung der Kationenaustauschkapazitäten auf. Mit ausschlaggebend für die

Veränderung der Bodenparameter ist die erhöhte Erosionsanfälligkeit auf den landwirtschaftlichen Nutzflächen.

Die Auswirkungen des anthropogenen Eingriffes in die Ökosysteme werden anhand der gesteigerten biologischen Aktivität auf den gestörten Flächen erkennbar. Aufgrund des feuchteren Milieus und der geringeren (Boden-)Temperaturen im Primärwald, bedingt durch ein geschlossenes Kronendach, sind hier geringere mikrobielle Aktivitäten nachweisbar. Mit der Zunahme der biologischen Aktivität auf genutzten Flächen geht eine Verringerung des Kohlenstoffgehalts einher, die wiederum zu einer fortschreitenden Verringerung der Nährstoffbindung und damit Verarmung des Bodens mit seinen pedoökologischen Funktionen führt.

Die Studie zeigt, welche Folgen die Abholzung auf den Boden und das Mikroklima haben. Die Bodendegradation führt zur potenziellen Abnahme der Artenvielfalt. Die niedrigen Flächenerträge aufgrund zunehmender Bodendegradation erhöhen den Flächenbedarf. Dieser erhöhte Flächenbedarf führt zur Ausweitung landwirtschaftlich genutzter Flächen und zur Verringerung der Waldressourcen. Eine sachgemäße Bewirtschaftung der landwirtschaftlichen Flächen stellt daher einen bedeutenden Beitrag zur Erhaltung und Bewahrung der Biodiversität dar.

Die Bodendegradation als wohl gravierendstes globales Umweltproblem ist bereits in der AGENDA 21 integriert, genauso wie auch im Aktionsprogramm 2015 der Bundesregierung als Beitrag zur weltweiten Halbierung extremer Armut. Eine Implementierung in die nationale Biodiversitätsstrategie der einzelnen betroffenen Länder, wie in diesem Falle Guatemala (ENB 1999b), würde zudem auf regionaler sowie lokaler Ebene Handlungsrichtlinien geben, um somit der Bodendegradation und gleichzeitig der damit einhergehenden Verringerung der Biodiversität entgegenzuwirken. Diesbezüglich wurden in diesem Teilprojekt Handlungsempfehlungen für den Ressourcenschutz erarbeitet.

10. RESUMEN

Cambio de uso de tierra y degradación de los suelos en áreas de bosques nubosos en Guatemala (Alta Verapaz)

En el año 1960 el país de Guatemala tenía 77 % bosque de la superficie total, en el año 1979 eran 42,5 %, 1992 32,9% y hoy es menor. Este es un proceso comparable en todo el mundo y significa una gran pérdida de la biodiversidad. Los hábitats para la flora y la fauna se pierden con este proceso. La deforestación tiene consecuencias al micro clima en los ecosistemas y a la degradación de los suelos. Estas consecuencias influyen la flora y fauna debido del cambio de los hábitats.

En las ciencias se investiga la flora y la fauna hasta los niveles mas bajos, hasta cada especie particular, y también los recursos genéticos. Sin embargo, se olvida muchas veces el recurso del suelo, el cual constituye la base para todos los seres vivos del planeta: Es el fundamento para la humanidad, para la flora y para la fauna. Diversidad de especies y la biodiversidad nacen del suelo, sobre el suelo y en el suelo. Por eso el recurso del suelo es de suma importancia para las investigaciones sobre la diversidad.

Entre el suelo y la biodiversidad existen varias interacciones. Con las diferentes funciones el suelo hace de “hogar” para plantas del uso humano, plantas silvestres e incontables especies de animales en el suelo. Todas las funciones del suelo tienen consecuencias directas e indirectas para la biodiversidad (función de biotopo, función de uso, función de regulación, función cultural, etc.).

La degradación del suelo causa la disminución de la diversidad de especies. Los bajos rendimientos por hectárea debido al aumento de la degradación de suelos causan requerimientos elevados de áreas cultivables. Esta necesidad de terrenos conduce a una extensión mas grande de la superficie con uso agrícola y una reducción de los recursos forestales. Un cultivo adecuado de las zonas agrarias contribuye a la conservación y protección de la biodiversidad.

En la estrategia nacional de biodiversidad de Guatemala estos aspectos del recurso suelo y las repercusiones de la degradación del suelo sobre la diversidad biológica no tienen ninguna importancia. En el año 2004 se publicará una nueva edición de la estrategia nacional. Con esta investigación se espera contribuir o elaborar la base científica para la extensión de la estrategia al recurso suelo.

La región de investigación se encuentra en el Departamento Alta Verapaz/Guatemala. Para las investigaciones de suelos se han elegido como punto esencial tres regiones, cuales se encuentran todas en el ‘Macizo de Cobán’ [Chicacnab (p.ej. 15°22,898’N, 90°11,031’O, 2320 m), Chelemhá (p.ej. 15°22,614’N, 90°05,506’O, 1960 m), Xucaneb (p.ej. 15°20,416’N, 90°18,381’O, 2099 m)]. Chicacnab es el área de núcleo del Proyecto Eco Quetzal (Cobán). La tierra se ha cultivado durante los últimos 60 años en esta región, lo que ha causado la conversión del bosque a tierra cultivada. La estación biológica del ‘Proyecto Eco Quetzal’ representa la base central para las investigaciones en esa región.

La comunidad Chelemhá es una población que se encuentra en la cordillera Yalijux. La Reserva Privada Chelemhá está apoyada por la ONG „UPROBON - Unión para proteger el bosque nuboso“ y se extiende de los 1900 hasta los 2532 m sobre el nivel del mar, con aproximadamente 230 ha de bosque nuboso intacto. La importancia del área se caracteriza por las buenas estructuras de hábitats, los cuales originan tasas de alta biodiversidad. Según una investigación del año 1989 en esta zona se encuentra la más alta densidad de quetzales en esta región de Guatemala.

La cuenca del Río Mestelá con la comunidad Xucaneb tiene gran importancia por sus recursos de agua. En esta área se origina el agua potable para las ciudades de Cobán y San Juan Chamelco. El uso de la tierra es significativo, ya que el uso que se le da a la laderas situadas por encima de la toma de agua de la ciudad de Cobán (se cultiva maíz con fertilizantes, pesticidas y estiércol) desfavorecen la calidad y cantidad del agua potable del municipio. Se necesita urgentemente una nueva planificación regional para esta zona. Una reforestación, como se propone en el programa PINFOR, es recomendable, tanto como medidas para la protección del suelo, como ya se han aplicado por el Proyecto Eco Quetzal.

En total se han tomado 116 muestras de suelo. Los primeros pasos de la preparación y análisis se hicieron en el CUNOR (Centro Universitario del Norte, Cobán Alta Verapaz, Facultad de Agronomía, Laboratorio de Suelos). Los siguientes parámetros se han determinado directamente en el campo: análisis de los horizontes, contenido de CaCO_3 , humedad de suelo en el campo, intensidad de raíces, densidad aparente, contenido de humus y materia orgánica, pH, color de suelo (de Munsell), estructura, fenómenos de oxidación y reducción, estabilidad de agregados, tipo de suelo, contenido de piedras, coordenadas, tipo de perfil, situación geológica, situación del relieve, exposición, inclinación, pendiente, uso de la tierra, vegetación, relación hidrológica, profundidad de raíces. El análisis de los parámetros químicos y físicos de suelos se efectuaron en el laboratorio de ciencias del suelo en la universidad Georg-Augusta de Goettingen, en el Instituto de Geografía, Departamento de ecología del Paisaje. Esto incluye entre otros la distribución de textura del suelo, contenido total de carbón y nitrógeno, valor pH (H_2O , KCl und CaCl_2), conductividad eléctrica (CE), capacidad intercambiable de cationes (CIC) (Na , K , Mg , Ca , Mn , Fe , Al , H^+), y contenidos totales de los nutrientes (Na , K , Ca , Cu , Mn , Mg , Fe , Al , Zn).

Cuando se han tomado las pruebas de suelo, se consideraron áreas de diferentes tipos de uso (bosque nuboso, áreas quemadas, áreas de cultivación de milpa, barbechos, etc.), también áreas de diferentes duraciones de uso agrícola (uso desde hace siete años hasta hace más de cien años).

La evaluación y análisis de la calidad y fertilidad de los suelos y del potencial de uso de la tierra se realiza por investigaciones de parcelas con diferentes edades o diferentes años de cultivos, el concepto de la investigación se llama “línea falsa de tiempo”, por ejemplo: bosque nuboso (bosque primario sin uso), *Milpa* (taló hace 15 años), Descanso (taló hace 20 años, desde entonces milpa, años de descanso: 1991, 1995 y 2001, actual preparación como parcela de reforestación), *Milpa* (maíz con frijoles y papas, taló hace 25 años), Guamil (vegetación

secundaria, campo de barbecho desde dos años, taló hace 28 años) y *Milpa* (taló hace 60 años).

La determinación de la distribución de los bosques y su cambio temporal se realizó por análisis de dos imágenes de satélite (LANDSAT-TM 5 y –ETM 7) de las fechas 14.04.1986 y 23.01.2000 (software ENVI 3.2). Adicionalmente diferentes fotos aéreas van a ser analizados de las fechas 23.01.1964, 14.02.1991 y 20.01.2000.

En el campo se instalaron tres estaciones para medir diferentes parámetros del clima: precipitaciones, temperatura en dos metros sobre la superficie, temperatura en cincuenta centímetros sobre la superficie, temperatura del suelo en diez centímetros de profundidad, humedad atmosférica, punto del rocío (HOBO Pro Temp/External Temp, HOBO Pro RH/Temp, HOBO Event Logger, BoxCar Pro 4.0 software). Los datalogger registran cada diez minutos los datos.

La deforestación tiene una gran influencia sobre la biodiversidad. La deforestación conduce a la pérdida del hábitat natural, degradación o daño parcial y a la fragmentación de los bosques. Esta investigación elaboró una clasificación según Maximum Likelihood del año 1986 y 2000 de la región de la Sierra Yalijux. Es evidente que la cresta de la montaña tiene los bosques. Pero en la periférica hay fragmentaciones graves. El parte del bosque primario son 23,49 %, el bosque secundario y barbecho tiene 53,88 % y la clase uso actual, milpa, pasto y población tiene 22,63 %.

La deforestación tiene como consecuencia la degradación de los suelos, lo cual se corrobora al evaluar los parámetros carbono y nitrógeno. Un ejemplo son los contenidos de los dos parámetros en el horizonte Ah en Chicacnab. Bajo el bosque primario existe un contenido de carbono de 35,2 %. El contenido disminuye a 10,0 % después de sesenta años de uso de tierra, y el guamil y descanso tienen 6,3 hasta 7,1 %. La disminución lleva a cambios de los funciones del suelo como función de biotopo o función de uso). Deficiencia de nutrientes puede conducir a un crecimiento reducido de flora y fauna. La disminución es muy grave, pero a pesar de todo los suelos no son muy pobres. También después de 100 años de uso de tierra los suelos tienen mas que 7,5 % carbono y 0,5 % nitrógeno, que es mucho según la clasificación internacional.

El cambio del paisaje tiene consecuencias en el micro clima, cuales tienen influencia sobre cualidad del hábitat. La temperatura del aire en 0,5 m sobre la superficie tiene en los diferentes ecosistemas siguiente sucesión: milpa > bosque secundario > bosque primario. La misma tiene validez para la temperatura del suelo en 0,10 m. Eso puede afectar condiciones de vida para la fauna en el suelo. La humedad relativa en el bosque primario es estable durante el día, mientras la humedad disminuye con aumento de la intensidad del uso del suelo. Hay oscilaciones durante el día en bosque secundario y en la milpa. Las condiciones para los hábitats se cambian debido del cambio del uso. Deforestación y las consecuencias resultantes como degradación del suelo y cambio del micro clima tienen influencia al inventario biológico debido los cambios del hábitats. La precipitación en la milpa es mas alta que en el

bosque secundario y bosque primario, pero en tiempos donde hay bastante niebla, el “efecto de peine” tiene gran influencia por el ciclo del agua en los bosques.

Una comparación de los diferentes perfiles con parámetros físicos y químicos de los suelos presenta informaciones sobre el cambio de los parámetros debido al uso de la tierra.

Como aparece en las explicaciones precedentes existen cambios graves para los recursos suelo y microclima debido a la deforestación. Los parámetros químicos en los suelos bajan y el microclima cambia. Hay una deficiencia de fósforo. Sería posible intensificar la productividad agrícola con aplicaciones de fertilizantes. Con eso habría una disminución de la presión a los bosques primarios.

Para contrarrestar la disminución del carbono y nitrógeno un uso sostenible es importante, como el proyecto del Quetzal está haciendo con barreras vivas y fertilizante como abono orgánico. Un aumento de la productividad agrícola y también cultivos alternativos son condiciones importantes para la conservación de ecosistemas naturales vecinas, por que de esta manera hay cosecha mas altas e ingresos disponibles más altos y no necesitan nuevas parcelas para la agricultura.

La protección privada de la naturaleza realizada por Organizaciones no Gubernamentales o particulares es un instrumento útil, lograr los objetivos. para realizar los intereses del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Las reservas naturales privadas podrían ser aptas para la conservación de la biodiversidad forestal. Una ventaja es que ante la existencia de problemas específicos, podrían plantearse soluciones locales. La formación de capital humano, y en especial la inversión en educación ambiental, constituyen una posibilidad de afrontar la pérdida de la biodiversidad forestal.

La reforestación con ayuda de programas del Estado como PINFOR o compensaciones para el subsidio de la sucesión natural en áreas de barbecho es un enfoque muy prometedor para el desarrollo sostenible en áreas tropicales.

Tener en cuenta el recurso ‘suelo’ en la estrategia nacional de biodiversidad de Guatemala logra una condición importante para la conservación del suelo y al mismo tiempo para la flora y fauna en los hábitats.

En las imágenes de satélite podemos cuantificar el proceso de la deforestación. Un buen ejemplo es el Parque Nacional Laguna Lachuá con una comparación de los años 1986 y 2000. La distribución del bosque dentro del parque es mas o menos la misma, pero en los alrededores la fragmentación de los bosques es mayor en el año 2000. Zonas de amortiguamiento pueden ayudar la conservación de las áreas protegidas. Alternativas para disminuir la deforestación serían ecoturismo, nuevos productos de agricultura (p.e. ciruela), producción de candelas de la planta Arrayan (como hace el Proyecto Eco Quetzal en Cobán). Con estas alternativas los campesinos tienen otros ingresos y no tienen que cortar los bosques para tener nuevas parcelas de agricultura.

11. SUMMARY

Forest Conversion and Soil Degradation of Tropical Montane Cloud Forests in Guatemala (Alta Verapaz)

Due to their number of ecological functions and endemic flora and fauna, the tropical montane cloud forests of Guatemala need to be protected. They were classified by the World Bank as vulnerable and biogeographically unique. Therefore they obtained a high conservation priority. To guarantee the sustainable development of the tropical montane cloud forests in Guatemala it is necessary to identify sustainable land use systems. The integration of the protection of natural resources and sustainable land use in the surrounding is a passable way to protect the forests and to assure the alimentation of the population.

A complete land use potential and landscape structure evaluation is carried out, under special consideration of the resource „forest“ and „soil“, in order to recommend protected areas in the montane cloud forests in the Department Alta Verapaz. Processes regarding the forest conversion will be researched as well as studies with respect to the soil resources potential. The main objectives are the quantification of the changes in landscape structure and the satellite supported analysis of the land use dynamics, as well as the determination of the usage potential within the context of the degradation processes, soil evaluation and soil hazards. This allows to take into account the following goals: ability to prioritise for the selection of protected areas; formulation of consequences in order to avoid future soil degradation; spatial evaluation of the landscape ecology in the tropics under consideration of protected area selection; evaluation of the influence of colonisation, deforestation and land use as well as the analysis and valuation of conservation strategies such as segregation and integration. The inclusion of the partially investigated soil quality and soil differentiation within the nutrient turnover in the tropical mountainous cloud forests can be used as a basis for the selection of biological protected areas as well as for recommendations for forestry cultivation.

Forest distribution and spatiotemporal changes are determined by studying and evaluating satellite images (LANDSAT-TM 5 and –ETM 7) dated 14.04.1986 and 23.01.2000, as well as aerial views from 23.01.1964, 14.02.1991 and 20.01.2000. The changes of the chemical, physical and biological soil parameters through deforestation and intensive land use will be determined on the basis of the following analyses: C_t , C_{org} , N_t , pH (H_2O , KCl und $CaCl_2$), conductivity, P, effective cation exchange capacity (CEC_{eff} : Na, K, Mg, Ca, Mn, Fe, Al, H), total nutrient contents (Na, K, Ca, Al, Cu, Mg, Mn, Zn, Fe, Cr, Co, Ni, P, S, Mo, Cd, Tl, Pb), grain size distribution, bulk density, water content etc.

The microclimate is an important factor for the description of changes in land use in Alta Verapaz. Consequently we have installed three climate stations to collect primary data to determine the differences between habitats in terms of the habitat climate (primary forest, secondary forest, *milpa*-system [corn-bean-cultivation]). The study area is located in the Sierra Yalijux in Alta Verapaz, Guatemala ($15^{\circ}22,432'N$ / $90^{\circ}04,266'W$).

Both the convention on biological diversity and the AGENDA 21 claim the determination and monitoring of ecosystems and habitats. The Agenda 21 demands furthermore the implementation of a monitoring system for the continuous control of the soil degradation with the objective to improve the living conditions in the adjacent areas. At the investigation site in Guatemala a lot of changes took place concerning forest conversion, soil quality and microclimate. The soil quality declines through increasing of land use intensity respectively length of time of land use. The soil degradation as a result of agricultural use is high. The contents of carbon and nitrogen for example reduce strongly: primary forest > *milpa* 15 years > *milpa* 25 years > *milpa* 60 years > secondary scrub > fallow land. A marked increase of soil temperature is identified after logging with effects on the composition of soil organisms.

The high relief leads to extreme strong slopes, where in spite of natural and anthropogenic hazards no one gives up the land use.

The forest area changed in a conspicuous and dramatic way between 1950 and 2000 in Guatemala. The loss of primary forest due deforestation is obvious when taking the forest cover change into account: in 1950 65 % of the total land area of Guatemala was forested and decreased in 2000 to 26 %. This requires proactive decisions in order to stop a further decline of forested land.

The resource 'soil' is of major importance especially regarding the discussions about biodiversity. However, world-wide this has not been paid sufficient attention. Forest conversion and soil degradation have significant effects on the biodiversity of flora and fauna. Forest conversion is leading to loss, changing and fragmentation of habitats. Soil degradation will lead to changes of the soil functions, reduction of biological diversity and lower yields and consequently to an expanded demand of agricultural areas (=forest conversion). Taking these effects into account it is necessary to implement the resource 'soil' into the national biodiversity strategy of Guatemala.

12. LITERATURVERZEICHNIS

- AG Boden (1994): Bodenkundliche Kartieranleitung. 4. Auflage. Hannover. 392 S.
- ALDRICH, M., BILLINGTON, C., EDWARDS, M. & R. LAIDLAW (1997): Tropical Montane Cloud Forests: An Urgent Priority for Conservation. WCMC Biodiversity Bulletin No. 2.
- ALEXANDER, I. (1989): Mycorrhizas in tropical forests. In: Proctor, J. [Hrsg.]: Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems. Special Publication Number 9 of the British Ecological Society, Blackwell Scientific Publications, S. 169-188.
- ANDERSON, E. C., LIBBY, W. F., WEINHOUSE, S., REID, A. F., KIRSHENBAUM, A. D. & A. V. GROSSE (1947): Natural Radiocarbon from Cosmic Radiation. In: Phys. Rev. 72, S. 931-936.
- ANDRÉN, O. & J. BALANDREAU (1999): Biodiversity and soil functioning – from black box to can of worms? In: Applied Soil Ecology 13, S. 105-108.
- ANGELSEN, A. & D. KAIMOWITZ [Hrsg.] (2001): Agricultural Technologies and Tropical Deforestation. Bogor: Center for International Forestry Research.
- ARCHILA, F. (2001): Lepanthes de Guatemala. Monografía del Género Lepanthes Sw. (Orchidaceae) para Guatemala. 281 S.
- ASTURIAS, M. A. (1956): Die Maismänner. Roman. Claassen Verlag Hamburg. 393 S.
- BAHRENBERG, G., GIESE, E. & J. NIPPER (1990): Statistische Methoden in der Geographie. Band 1, Univariate und bivariate Statistik. Stuttgart. 233 S.
- BAILLY, F. & R. NIEDER [Hrsg.] (1997): FAO/Unesco Bodenkarte der Welt. Deutsche Übersetzung der Revidierten Legende, 1988/1997. 68 S.
- BARATTA, M. VON (2000): Der Fischer Weltatmanach 2001. 1407 S.
- BARTHLOTT, W. & M. WINIGER [Hrsg.] (2001): Biodiversity: a challenge for development and policy. Berlin, Heidelberg, New York. 429 S.
- BASIC RESOURCES INTERNATIONAL LIMITED (1996): Caracterizacion preliminar de la Biodiversidad. Area de contrato 2-85, Campo Xan. o.S.
- BAUER, F. (1998): Dem Himmel näher als der Erde. Entwicklungshilfe der anderen Art – Naturschutz in Guatemala. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 09.03.1998, Nr. 57, S. 15.
- BAUMEISTER, E. (2001): Formas de acceso a la tierra y al agua en Guatemala. Sistema de Naciones Unidas. Cuadernos de Desarrollo Humano. 21 S.
- BEACH, T. (1998): Soil catenas, tropical deforestation, and ancient and contemporary soil erosion in the Petén, Guatemala. In: Physical Geography, Bd. 19, Heft 5, S. 378-405.
- BECK, T. (1968): Mikrobiologie des Bodens. München, 451 S.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1998): Biodiversität und Raum. In: Die Erde, 128, S. 81-101.
- BEIERKUHNLEIN, C. (1999a): Biodiversitätsuntersuchungen in nordbayrischen Landschaften. In: Beierkuhnlein, C.: Rasterbasierte Biodiversitätsuntersuchungen in nordbayerischen Landschaftsräumen. Bayreuther Forum Ökologie, Band 69. S. I-IX.

- BEIERKUHNLEIN, C. (1999b): Geoökologie – Stellung und Abgrenzung zu ihren Nachbardisziplinen. *Forum Geoökol.* 10 (1), S. 29-31.
- BEKELE, T. & W. HÖFNER (1990): Comparison of eight phosphorus extraction methods on ten reddish brown soils of ethiopian highlands. In: Gießener Beiträge zur Entwicklungsforschung, Reihe I, Band 18, Wissenschaftliches Zentrum Tropeninstitut, Justus-Liebig-Universität Giessen, S. 175-193.
- BLUME, H.-P. [Hrsg.] (1992): Handbuch des Bodenschutzes. Bodenökologie und –belastung, Vorbeugende und abwehrende Schutzmaßnahmen. Landsberg/Lech. 794 S.
- BMVEL (2002): Biologische Vielfalt mit der Land- und Forstwirtschaft. Angewandte Wissenschaft, Heft 494. Schriftenreihe des Bundesministeriums für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft. 380 S.
- BOMMER, J. J. & C. E. RODRÍGUEZ (2002): Earthquake-induced landslides in Central America. In: *Engineering Geology* 63, S. 189-220.
- BOSLAND, P. W. & M. M. GONZALEZ (2000): The rediscovery of *Capsicum lanceolatum* (Solanaceae), and the importance of nature reserves in preserving cryptic biodiversity. In: *Biodiversity and Conservation* 9, S. 1391-1397.
- BRAY, R. H. & L. T. KURTZ (1945): Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. In: *Soil Sci.* 59, S. 39-45.
- BROWN, A. D. & M. KAPPELLE (2001): Introducción a los bosques nublados del neotrópico: una síntesis regional. In: Kappelle, M. & A. D. Brown [Hrsg.] (2001): *Bosques nublados del neotrópico*, S. 25-40.
- BROWN, M. B., DE LA ROCA, I., VALLEJO, A., FORD, G., CASEY, J., AGUILAR, B. & R. HAACKER (1996): Un Análisis del Valor de Bosque Nuboso en la Protección de Cuencas. Reserva de Biósfera Sierra de las Minas, Guatemala y Parque Nacional Cusuco, Honduras. 148 S.
- BRUIJNZEEL, L. A. & J. PROCTOR (1995): Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? In: Hamilton, L. S., Juvik, J. O. & F. N. Scatena [Hrsg.]: *Tropical Montane Cloud Forests*, Ecological Studies 110, Springer-Verlag, New York, S. 38-78.
- BRUIJNZEEL, L. A. & L. S. HAMILTON (2000): Decision time for cloud forests. Water-Related issues and problems of the humid tropics and other warm humid regions. IHP Humid tropics programme series No. 13. UNESCO. 40 S.
- BRUIJNZEEL, L. A. (1989): Nutrient cycling in moist tropical forests: the hydrological framework. In: Proctor, J. [Hrsg.]: *Mineral Nutrients in Tropical Forest and Savanna Ecosystems*. Special Publication Number 9 of the British Ecological Society, Blackwell Scientific Publications, S. 383-415.
- Brussaard, L., Behan-Pelletier, V.M., Bignelli, D.E., Brown, V.K., Didden, W., Folgarait, P., Fragoso, C., Freckman, D.W., Gupta, V.V.S.R., Hattori's, T., Hawsworth, D.L., Klopatek, C., Lavelle, P., Malloch, D.W., Rusek, J., Söderström, B., Tiedje, J.M. & R.A. Virginia (1997): Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. In: *Ambio*, Vol. 26, No. 8, S. 563-570.

- BUBB, P. (2001): Desarrollo de una base de datos para los bosques nublados del neotrópico. In: Kappelle, M. & A. D. Brown [Hrsg.] (2001): Bosques nublados del neotrópico, S. 51-62.
- BUDOWSKI, G. (1965): The choice and classification of natural habitats in need of preservation in Central America. In: Turrialba 15(3), S. 238-246.
- BUNDESMINISTER FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (o. J.): Umweltpolitik.- Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. Dokumente. Klimakonvention, Konvention über die biologische Vielfalt, Rio-Deklaration, Walderklärung). 52 S.
- BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT (1997): Umweltpolitik.- Agenda 21. Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. Dokumente. 359 S.
- BURGDORFF, T. (2002): Der Beitrag der deutschen Entwicklungszusammenarbeit zur Entschärfung der Flüchtlings- und Migrationsproblematik: Die Fallstudie Guatemala. 230 S.
- CABASCANGO, P. (1999): Biodiversity – a crucial issue for the world’s poorest. Posey, D. [Hrsg.]: Cultural and Spiritual Values of Biodiversity. A Complementary Contribution to the Global Biodiversity Assessment. United Nations Environment Programme. 731 S.
- CABRERA GAILLARD, C. (1992): Diagnostico Forestal Nacional de Guatemala. Union Internacional para la conservación de la naturaleza (UICN) e Intercooperation (IC). Proyecto Forestal Regional. 147 S.
- CABRERA, E. F. (1996): Diagnostico sobre la gestion de los recursos de biodiversidad y la aplicación de la AGENDA 21 en Guatemala. Proyecto: Manejo Sostenible de Recursos Naturales. 28 S.
- CACAO BARTOLÓN, L. A. (2003a): Ecoturismo en la parte sureste del cuadrángulo Caquipec. Informe social de campaña geológica. Cobán, Guatemala. 41 S.
- CACAO BARTOLÓN, L. A. (2003b): Mapeo geológico en la parte sureste del cuadrángulo Caquipec. Campaña Geológica. Cobán, Guatemala. 46 S.
- CAMARGO, J. A. (1999): On the concept of pedodiversity and its measurement. In: Geoderma 93, S. 335-338.
- CAMPANELLA, R. (1993): The Role of GIS in Evaluating Contour-Based Limits of Cloud Forest Reserves in Honduras. In: Annual Convention and Exposition Technical Papers, Vol. 1. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, S. 61-69.
- CASTAÑEDA, C. (1997): Impacto de diferentes sistemas de Produccion en la Biodiversidad de las Zonas Semiaridas de Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Dirección General de Investigación. Programa Universitario de Investigación en Recursos Naturales y Ambiente –PUIRNA-, Facultad de Agronomía. 72 S.
- CASTAÑEDA, L. A., TOBIAS, H. & E. MEDINA (1986): Situación actual del uso y manejo del suelo en Guatemala. Primer Congreso Nacional de la Ciencia del suelo. Ponencia de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala. 51 S.

- CATLING, P. M. & L. P. LEFKOVITCH (1989): Associations of Vascular Epiphytes in a Guatemalan Cloud Forest. In: *Biotropica* 21 (1), S. 35-40.
- CAVELIER, J. (1988): The Ecology of elfin cloud forests in Northern South America. Dissertation submitted for the annual research fellowship competition, Trinity College, University of Cambridge, Cambridge.
- CAVELIER, J. & A. TOBLER (1998): The effect of abandoned plantations of *Pinus patula* and *Cupressus lusitanica* on soils and regeneration of a tropical montane rain forest in Colombia. In: *Biodiversity and Conservation* 7, S. 335-347.
- CAVELIER, J. (1995): Reforestation with the Native Tree *Alnus acuminata*: Effects on Phytodiversity and Species Richness in an Upper Montane Rain Forest Area of Colombia. In: Hamilton, L. S., Juvik, J. O. & F. N. Scatena [Hrsg.]: *Tropical Montane Cloud Forests. Ecological Studies* 110. S. 125-137.
- CCAD (1998): *Estado del ambiente y los recursos naturales en Centroamérica 1998*. San José, Costa Rica.
- CERDÀ, A. (2000): Aggregate stability against water forces under different climates on agriculture land and scrubland in southern Bolivia. *Soil & Tillage Research* 57, S. 159-166.
- CHEMONICS INTERNATIONAL BIFOR CONSORTIUM; INTERNATIONAL RESOURCES GROUP (2000): *Guatemala: Assessment and Analysis of Progress Toward SO5 Goals in the Maya Biosphere Reserve*. Guatemala: Consultant Report to USAID.
- CHOMITZ, K. M. & D. A. GRAY (1996): Roads, Land Use, and Deforestation: A Spatial Model Applied to Belize. In: *The World Bank Economic Review*, Vol. 10, No. 3, S. 487-512.
- COLCHESTER, M. (1991): Guatemala: The Clamour for Land and the Fate of the Forests. In: *The Ecologist*, Vol. 21, No. 4, S. 177-185.
- CONAMA (Comisión Nacional del Medio Ambiente) (1992): *Situación ambiental de la República de Guatemala*. Guatemala, Conferencia Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo UNCED - Brasil.
- CONAMA (1999): *Estrategia Nacional para la conservación y el uso sostenible de la Biodiversidad y Plan de Acción*. Guatemala.
- CONAP (2000): *Fauna de Guatemala en Peligro de Extinción*. 62 S.
- CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas) (1997): *El estado de la Reserva de la Biósfera Maya en 1996*. Guatemala: CONAP/AID/ Fondo Peregrino.
- CUADERNOS CHAC (1996): *La Deforestación en Guatemala*. Facultad de Agronomía. Universidad de San Carlos de Guatemala. 26 S.
- CUNNINGHAM, A. B. (2001): Indigenous Knowledge and Biodiversity. In: Place, S. E. [Hrsg.]: *Tropical Rainforests – Latin American Nature and Society in Transition*. Revised and updated edition. Jaguar Books on Latin America, Number 2. S. 188-196.
- DALE, V. H., KING, A. W., MANN, L. K., WASHINGTON-ALLEN, R. A. & R. A. MCCORD (1998): Assessing Land-Use Impacts on Natural Resources. In: *Environmental Management* Vol. 22, No. 2. S. 203-211.

- DALE, V. H., O'NEILL, R. V., SOUTHWORTH, F. & M. PEDLOWSKI (1994): Modeling Effects of Land Management in the Brazilian Amazonian Settlement of Rondonia. In: Conservation Biology, Vol. 8, No. 1, S. 196-206.
- DE JONG, B. H. J., CAIRNS, M. A., HAGGERTY, P. K., RAMÍREZ-MARCIAL, N., OCHOAGAONA, S., MENDOZA-VEGA, J., GONZÁLEZ-ESPINOSA, M. & I. MARCH-MIFSUT (1999): Land-Use Change and Carbon Flux Between 1970s and 1990s in Central Highlands of Chiapas, Mexico. In: Environmental Management Vol. 23, No. 3, S. 373-385.
- DE LA CRUZ, J. R. (1982): Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Sector público agropecuario y de Alimentación, Instituto Nacional Forestal, Unidad de Evaluación y Promoción, Dirección General de servicios Agrícolas. 42 S.
- DEFENSORES DE LA NATURALEZA (2001): Impacto de la Agricultura Sostenible sobre la Conservación de la Biodiversidad, Reserva de la Biósfera Sierra de las Minas, Guatemala. Washington, D.C.: Biodiversity Support Program.
- DEININGER, K. & B. MINTEN (1999): Poverty, policies, and deforestation: The case of Mexico. In: Economic Development and Cultural Change, Vol. 47, No. 2, S. 313-344.
- DIGEBOS (o.J.): Causas de la Deforestacion en Guatemala. o.S.
- DINERSTEIN, E., OLSON, D. M., GRAHAM, D. J., WEBSTER, A. L., PRIMM, S. A., BOOKBINDER, M. P. & G. LEDEC (1995): A Conservation Assessment of the Terrestrial Ecoregions of Latin America and the Caribbean. Washington, D.C.: World Bank.
- DOBSON, A. P. (1997): Biologische Vielfalt und Naturschutz: der riskierte Reichtum. Heidelberg, Berlin, Oxford. 329 S.
- DONNELLY, TH. W., HORNE, G. S., FINCH, G. & E. LÓPEZ-RAMOS (1990): Los Bloques Maya y Chortí, Centro America Norte. In: The Geology of North America, Vol. H. The Caribbean Region. The Geological Society of America. 40 S.
- DURDEN, L. A. & R. P. ECKERLIN (2001): *Polyplax guatemalensis* sp. n. (Phthiraptera: Anoplura), a new sucking louse from *Peromyscus grandis*, a montane cloud forest rodent from Guatemala. Folia parasitologica 48, S. 69-72.
- EATON, W. D. (2001): Microbial and nutrient activity in soils from three different subtropical forest habitats in Belize, Central America before and during the transition from dry to wet season. In: Applied Soil Ecology 16, S. 219-227.
- EDITORIAL STAFF GK (2004, in Vorbereitung): Valuation and Conservation of Biodiversity – Interdisciplinary View on the Convention on Biological Diversity. Springer-Verlag, ca. 450 S.
- EGBERT, S., PETERSON, A. T., PRICE, K. & V. SÁNCHEZ-CORDERO (1999): Modeling Conservation Priorities in Veracruz, Mexiko. In: Morain, S. [Hrsg.]: GIS Solutions in Natural Resource Management: Balancing the Technical-Political Equation. S. 141-150.
- EHUI, S. K. & T. W. HERTEL (1989): Deforestation and agricultural productivity in the Côte d'Ivoire. In: American journal of agricultural economics, 71, 3, S. 703-711.

- EISERMANN, K. & U. SCHULZ (2002): Ermittlung von Vogel-Zielarten für ein Regenwaldschutzprojekt. In: Beitr. Forstwirtschaft und Landschaftsökologie 36, 1, S. 14-17.
- EISERMANN, K. (1999): Avifaunistisch-ökologische Untersuchungen in einer Nebelwaldregion Guatemalas als Grundlage für die Entwicklung eines Biomonitoringprogramms. Unveröffentlichte Diplomarbeit im Fach Tierökologie. Fachhochschule Eberswalde. 82 S. plus Anhang.
- ELLINGSON, L. J., KAUFFMAN, J. B., CUMMINGS, D. L., SANFORD JR., R. L. & V. J. JARAMILLO (2000): Soil N dynamics associated with deforestation, biomass burning, and pasture conversion in a Mexican tropical dry forest. *Forest Ecology and Management* 137, S. 41-51.
- ENB (1999a): Conociendo el Sistema Guatemalteco de Areas Protegidas –SIGAP-. Estrategía Nacional para la conservación y uso sostenible de la Biodiversidad. Guatemala. 90 S.
- ENB (1999b): Estrategia Nacional para la conservación y el uso sostenible de la Biodiversidad y Plan de Acción Guatemala. Informe Ejecutivo. 36 S.
- ENB (1999c): La Vida Silvestre. Uso y conservación. Estrategía Nacional para la conservación y uso sostenible de la Biodiversidad. Guatemala. 119 S.
- ESCOBAR, J. & C. RODRÍGUEZ (1989): Situación de los recursos forestales de Guatemala. El primer congreso Forestal Nacional, Colegio de Ingenieros Agrónomos. Guatemala.
- EUGSTER, W. (2002): The Role of Cloud and Fog Water Inputs in the Hydrological Budget of a Tropical Cloud Forest Ecosystem in Costa Rica. Part 2 of Research Proposal Submitted to the Swiss National Science Foundation. 10 S.
- EWEL, J. J. (1976): Litter Fall and Leaf Decomposition in a Tropical Forest Succession in Eastern Guatemala. In: *Journal of Ecology*, Vol. 64, Issue 1, S. 293-308.
- EWEL, J. J., MAZZARINO, M. J. & C. W. BERISH (1991): Tropical soil fertility changes under monocultures and successional communities of different structure. In: *Ecological Applications*, Vol. 1 (No.3), S. 289-302.
- FAO (1993): Forest Resources Assessment 1990, Tropical Countries. FAO Forestry Paper 112. Rome: FAO. (Food and Agriculture Organization of the United Nations)
- FAO (2001): State of the World's Forests. Roma.
- FAO (2003): State of the World Forests. 151 S.
- FAO (1997): Notas preliminares de la misión multidisciplinaria de pesca de la FAO en relación con el sector pesquero de Guatemala, Guatemala.
- FAO-UNESCO (1990): Soil map of the world. Revised Legend. World Soil Resources Report 60. Rom, 119 S.
- FISCHER, A. & L. VASSEUR (2000): The crisis in shifting cultivation practices and the promise of agroforestry: a review of the Panamanian experience. In: *Biodiversity and Conservation* 9, S. 739-756.
- FÖRTHNER, H. & M. ROBLES (1998): Lista preliminar de la Flora Silvestre de la Sierra Caquiepec, Alta Verapaz, Guatemala. Proyecto Ecológico Quetzal Archive.

- FOSTER, P. (2001): The potential negative impacts of global climate change on tropical montane cloud forests. In: *Earth-Science Reviews* 55, S. 73-106.
- FOURCADE, E., MÉNDEZ, J., AZÉMA, J., BELLIER, J.-P., CROS, P., MIGHAUD, F., CARBALLO, M. & J. C. VILLAGRÁN (1994): Dating of the Settling and Drowning of the Carbonate Platform, and of the Overthrusting of the Ophiolites on the Maya Block during the Mesozoic (Guatemala). In: *Newsl. Stratigr.* 30 (1), S. 33-43.
- FOURCADE, E., PICCIONI, L., ESCRIBÁ, J. & E. ROSSELO (1999): Cretaceous stratigraphy and paleoenvironments of the Southern Petén Basin, Guatemala. In: *Cretaceous Research*, 20, S. 793-811.
- FRANKE, H. W. (1969): *Methoden der Geochronologie. Die Suche nach den Daten der Erdgeschichte.* Springer-Verlag. 132 S.
- FRIEDRICH, S. (2002): Schutz der biologischen Vielfalt in Guatemala durch Schutzgebiete? Akzeptanzprobleme und Lösungsansätze an drei Beispielen. In: Korn, H. & U. Feit (Bearb.): *Treffpunkt Biologische Vielfalt II – Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt.* Bundesamt für Naturschutz, Bonn [Hrsg.], S. 245-252.
- FÜRSTENBERG, P. FREIHERR VON (1966): *Formen der Waldnutzung im spanischen Nord- und Mittelamerika während der Kolonialzeit (16.-18. Jahrh.). Dargestellt an Beispielen aus dem ehemaligen Vizekönigreich Neu-Spanien einschließlich der Audiencias Guatemala und Santo Domingo.* Dissertation, Georg-August-Universität zu Göttingen. 216 S.
- GARRELT, H. (2003): Nationalpark im Spannungsfeld von Wissenschaft, internationalen Abkommen und regionalen Interessen. In: Korn, H. & U. Feit (Bearb.): *Treffpunkt Biologische Vielfalt III – Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt.* Bundesamt für Naturschutz, Bonn [Hrsg.], S. 165-172.
- GEO-SPEZIAL (1993): *Die Welt der Maya.* Gruner + Jahr AG & Co., 164 S.
- GEROLD, G. (1991): Human Impact on Forest Ecosystems and Soil Deterioration in Tropical Bolivia.- In: Erdelen, W. et al.: *Tropical Ecosystems*, Weikersheim, S. 107-120.
- GEROLD, G. (1997): Bodendifferenzierung, Bodenqualität und Nährstoffumsatz in Ihrer Bedeutung für die Waldrehabilitation und Landwirtschaftliche Nutzung in der Ostregion der Elfenbeinküste.- *Gött. Geogr. Abh.* H. 100, S. 147-178.
- GEROLD, G., SCHAWÉ, M. & L. JOACHIM (2003): Pedeökologische hypsometrische Varianz in ungestörten Bergregenwäldern der Anden (Yungas). In: *GEO-ÖKO*, Band/Volume XXIV, S. 153-162.
- GESTEL, C.A.M. VAN, RADEMAKER, M.C.J. & N. M. VAN STRAALLEN (1995): Capacity controlling parameters and their impact on metal toxicity in soil invertebrates. In: Salomons, W. & W. M. Stigliani [Hrsg.]: *Biogeodynamics in soils and sediments.* Springer, Berlin, S. 171-192.
- GEYH, M. A. & H. SCHLEICHER (1990): *Absolute Age Determination. Physical and Chemical Dating Methods and Their Application.* Springer. 503 S.

- GEYH, M. A. (1980): Einführung in die Methoden der physikalischen und chemischen Altersbestimmung. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt. 276 S.
- GEYH, M. A. (1983): Physikalische und Chemische Datierungsmethoden in der Quartärforschung. Praktische Aspekte zur Entnahme, Auswahl und Behandlung von Proben sowie zur Beurteilung und Interpretation geochronologischer Ergebnisse. 163 S.
- GILLER, K. E., BEARE, M. H., LAVELLE, P., IZAC, A. M. N., & M. J. SWIFT (1997): Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function in the tropics. In: *Soil Applied Ecology*. Vol. 6, No. 1, S. 3-16.
- GISI, U., SCHENKER, R., SCHULIN, R., STADELMANN, F. X. & H. STICHER (1997): *Bodenökologie*. 350 S.
- GODOY, R. et al. (1997): Household Determinants of Deforestation by Amerindians in Honduras. In: *World Development*, Vol. 25, S. 977-987.
- GÓMEZ-POMPA, A. (1987): Tropical deforestation and Maya silviculture, an ecological paradox. In: *Tulane Studies in Zoology and Botany*, Vol. 26, No. 1, S. 19-37.
- GOTTSCHALK, T. K. (2002): A Remote Sensing and GIS-based model of avian species habitat and its potential as a part of an environmental monitoring programme. *Materialien Umweltwissenschaften Vechta MUWV 14*. 91 S.
- GRIEVE, I. C., PROCTOR, J. & S. A. COUSINS (1990): Soil variation with altitude on Volcán Barva, Costa Rica. In: *Catena* 17, S. 525-534.
- GRIMM, U. & H. W. FASSBENDER (1981): Ciclos bioquímicos en un ecosistema forestal de los Andes Occidentales de Venezuela. I. Inventario de las reservas orgánicas y minerales (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, Na). In: *Turrialba* 31, S. 27-37.
- GROBHEIM, C. (1998): Erarbeitung einer Methode zur Ermittlung von Flächenanteilen in der Landnutzung mittels kleinformatiger Luftbilder am Beispiel des Montaña Caquiqueq, Cobán, Alta Verapaz, Guatemala. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Fachbereich der Forstwissenschaft und Waldökologie der Georg-August-Universität Göttingen. 43 S. plus Anhang.
- GROSSMAN, J. M. (2003): Exploring farmer knowledge of soil processes in organic coffee systems of Chiapas, Mexico. In: *Geoderma* 111, S. 267-287.
- GRUBB, P. J. (1995): Mineral Nutrition and Soil Fertility in Tropical Rain Forests. In: Lugo, A. E. & C. Lowe [Hrsg.]: *Tropical Forests: Management and Ecology*. *Ecological Studies* 112. S. 308-330.
- GRUNBERG, W., GUERTIN, D. P. & W. W. SHAW (2000): Modeling Deforestation Risks for the Maya Biosphere Reserve, Guatemala. Twentieth Annual ESRI International User Conference. San Diego, California. June 26-30, 2000. Unveröffentlichtes Manuskript, 23 S.
- HAMILTON, L. S. (2001): Una campaña por los bosques nublados: ecosistemas únicos y valiosos en peligro. In: Kappelle, M. & A. D. Brown [Hrsg.] (2001): *Bosques nublados del neotrópico*, S. 41-49.

- HAMILTON, L. S., JUVIK, J. O. & F. N. SCATENA [Hrsg.] (1995): Tropical Montane Cloud Forests. *Ecological Studies* 110. 407 S.
- HARTGE, K.-H. & R. HORN (1989): Die physikalische Untersuchung von Böden. Stuttgart. 175 S.
- HAUFF, V. (1987): Unsere gemeinsame Zukunft. Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven: Eggenkamp. 421 S.
- HAYES, D. J. & S. A. SADER (2001): Comparison of Change-Detection Techniques for Monitoring Tropical Forest Clearing and Vegetation Regrowth in a Time Series. In: *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 67, No. 9, S. 1067-1075.
- HAYES, D. J., SADER, S. A. & N. B. SCHWARTZ (2002): Analyzing a forest conversion history database to explore the spatial and temporal characteristics of land cover change in Guatemala's Maya Biosphere Reserve. In: *Landscape Ecology* 17, S. 299-314.
- HEEB, J. (1991): Haushaltsbeziehungen in Landschaftsökosystemen topischer Dimension in einer Elementarlandschaft des Schweizerischen Mittellandes. Modellvorstellungen eines Landschaftsökosystems. *Physiogeographica, Basler Beitr. z. Physiogeographie*, Bd. 14, 198 S.
- HELLIER, A., NEWTON, A. C. & S. OCHOA GAONA (1999): Use of indigenous knowledge for rapidly assessing trends in biodiversity: a case study from Chiapas, Mexico. In: *Biodiversity and Conservation* Vol. 8, No. 7, S. 869-889.
- HERRICK, J. E. (2000): Soil quality: an indicator of sustainable land management? In: *Applied Soil Ecology* 15, S. 75-83.
- HIEZ, P., WANER, W., WANIA, R. & N. M. NADKARNI (2002): Nitrogen-15 natural abundance in a montane cloud forest canopy as an indicator of nitrogen cycling and epiphyte nutrition. In: *Oecologia* 131, S. 350-355.
- HOLDRIGE, L. R. (1967): Life zone ecology. Tropical Science Center, San José, Costa Rica.
- HOLL, A. (2002): Wissen, Werten, Handeln. Zum Umgang mit Natur und Biodiversität im privaten Gartenbau. In: Korn, H. & U. Feit (Bearb.): *Treffpunkt Biologische Vielfalt II – Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt*. Bundesamt für Naturschutz, Bonn [Hrsg.], S. 55-60.
- HOUGHTON, R. A., LEFKOWITZ, D. S. & D. L. SKOLE (1991): Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. I. Progressive loss of forests. In: *Forest Ecology and Management* 38, S. 143-172.
- HOUGHTON, R. A., SKOLE, D. L. & D. S. LEFKOWITZ (1991): Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. II. Net release of CO₂ to the atmosphere. In: *Forest Ecology and Management* 38, S. 173-199.
- IBÁÑEZ, J. J. & S. DE ALBA (1999): On the concept of pedodiversity and its measurement. A reply. In: *Geoderma* 93, S. 339-344.
- IBÁÑEZ, J. J. & S. DE ALBA (2000): Pedodiversity and scaling laws: sharing Martín and Rey's opinion on the role of the Shannon index as a measure of diversity. In: *Geoderma* 98, S. 5-9.

- IBÁÑEZ, J. J., DE-ALBA, S., BERMÚDEZ, F. F. & A. GARCÍA-ÁLVAREZ (1995): Pedodiversity: concepts and measures. In: *Catena* 24, S. 215-232.
- IBÁÑEZ, J. J., DE-ALBA, S., LOBO, A. & V. ZUCARELLO (1998): Pedodiversity and global soil patterns at coarse scales (with Discussion). *Geoderma* 83, S. 171-214.
- INAB (2002): Informe Institucional a Incorporarse al Informe Anual del Presidente de la Republica al Congreso de la Republica. 33 S.
- INAFOR (Instituto Nacional Forestal) (1982): Memoria de labores 1982. Guatemala.
- INAFOR (o.J.): Consecuencias de la Deforestación en Guatemala. La Reforestación artificial como medio para contrarrestar sus efectos. 7 S.
- ISLEBE, G. A. & H. HOOGHIEMSTRA (1997): Vegetation and climate history of montane Costa Rica since the last glacial. In: *Quaternary Science Reviews*, Vol. 16, S. 589-604.
- ISLEBE, G. A. & M. E. VÉLIZ PÉREZ (2001): Guatemala. In: Kappelle, M. & A. D. Brown [Hrsg.] (2001): *Bosques nublados del neotrópico*, S. 231-241.
- JANSON, TH. (2001): *Maya Nature. An introduction to the ecosystems, plants and animals of the Mayan World*. Vista Publications. 128 S.
- JUAREZ, A. (1992): Identification of erosion hazard areas applied to a river basin, Guatemala. *Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung* 33, S. 125-131.
- JUST, P. & G. GEROLD (2002): GIS-based geostatistical methods for the recordation and validation of meadow birds habitat structure. In: *Landschaft im Wandel – Ökologie im Wandel. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, Band 32. S. 295.
- KAIMOWITZ D. & A. ANGELSEN (2002): *Economic Models of Tropical Deforestation: A Review*. Bogor: Center for International Forestry Research, third draft.
- KAIMOWITZ, D. (1995): *Land Tenure, Land Markets, and Natural Resource Management in the Petén and Northern Transversal of Guatemala*. Bogor: Center for International Policy Research.
- KAIMOWITZ, D. (1996): *Livestock and Deforestation in Central America in the 1980s and 1990s: A Policy Perspective*. Bogor: Center for International Policy Research.
- KAPPELLE, M. & A. D. BROWN [Hrsg.] (2001): *Bosques nublados del neotrópico*. 704 S.
- KATZ, E. (2000): Social Capital and Natural Capital: A Comparative Analysis of Land Tenure and Natural Resource Management in Guatemala. In: *Land Economics*, Vol. 76, No. 1, S. 114-132.
- KLINGE, R. (1997): *Wasser- und Nährstoffdynamik im Boden und Bestand beim Aufbau einer Holzplantage im östlichen Amazonasgebiet*. Dissertation, Math.-Naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Göttingen. 257 S.
- KREBS, M., HERKENRATH, P. & H. MEYER (2002): *Zwischen Schutz und Nutzung*. Zehn (10) Jahre Konvention über biologische Vielfalt. Forum Umwelt und Entwicklung, Bonn. 27 S.
- KRETZSCHMAR, R. (1996): *Kulturtechnisch-Bodenkundliches Praktikum – Ausgewählte Labor- und Feldmethoden, 2, Chemische Verfahren der Standortuntersuchung*. Skript Universität Kiel.

- KUNKEL-WESTPHAL, I. & P. KUNKEL (1979): Litter Fall in a Guatemalan Primary Forest, with Details of Leaf-Shedding by Some Common Tree Species. In: *Journal of Ecology*, Vol. 67, Issue 2, S. 665-686.
- KUNTZ, S. & F. SIEGERTS (1999): Monitoring of deforestation and land use in Indonesia with multitemporal ERS data. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, No. 14, S. 2835-2853.
- KURTENBACH, S. (1998): Guatemala. Beck'sche Reihe. 168 S.
- LABASTILLE, A. & D. J. POOL (1978): On the Need for a System of Cloud-forest Parks in Middle America and the Caribbean. In: *Environmental Conservation*, Vol. 5, No. 3, S. 183-190.
- LAL, R. (1998a): Soil Quality and Sustainability. In: Lal, R. et al. [Hrsg.]: *Methods for assessment of soil degradation*. S. 17-30.
- LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFTLICHE CHEMIE (2002): Merkblatt zur Bodenuntersuchung im Hausgarten. Universität Hohenheim. (http://www.uni-hohenheim.de/~www710/boden/merkblatt_bodenuntersuchung.pdf), 6 S.
- LANDON, J. R. (1991): *Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. Booker Agriculture International Limited. 474 S.
- LANFER, N. (2000): Geoökologische Untersuchungen zur Nachhaltigkeit von Landnutzungssystemen im „Oriente“ Ecuadors. In: Blotevogel, H. H., Ossenbrügge, J. & G. Wood [Hrsg.]: *Lokal verankert – weltweit vernetzt*. 52. Deutscher Geographentag Hamburg 2. bis 9. Oktober 1999, Tagungsbericht und wissenschaftliche Abhandlungen. S. 371-380.
- LANFER, N. (2003): Landschaftsökologische Untersuchungen zur Standortbewertung und Nachhaltigkeit von Agroökosystemen im Tieflandsregenwald Ecuadors. *EcoRegio* 9, 251 S.
- LAURANCE, W. F., ALBERNAZ, A. K. M., SCHROTH, G., FEARNside, P. M., BERGEN, S., VENTICINQUE, E. M. & C. DA COSTA (2002): Predictors of deforestation in the Brazilian Amazon. In: *Journal of Biogeography*, Bd. 29, S. 737-748.
- LENTZ, J. (1925): Die Abtragungsvorgänge in den vulkanischen Lockermassen der Republik Guatemala. *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft zu Würzburg*, 1. Jahrgang, 96 S.
- LEONARD, H. (1987): *Natural resources and economic development in Guatemala*. New Brunswick: International Institute for Environment and Development.
- LILIENFEIN, J., WILCKE, W., NEUFELDT, H., AYARZA, M. A. & W. ZECH (1998): Land-use Effects on Organic Carbon, Nitrogen, and Sulphur Concentrations in Macroaggregates of Differently Textured Brazilian Oxisols. In: *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 161, S. 165-171.

- LÖNING, L. & M. MARKUSSEN (2003a): Pobreza, Deforestación y Pérdida de la Biodiversidad en Guatemala. Documentos de Trabajo Nr. 91, Instituto Ibero-Americano de Investigaciones Económicas. 43 S.
- LÖNING, L. & M. MARKUSSEN (2003b): Pobreza, deforestación y sus eventuales implicaciones para la biodiversidad en Guatemala. In: Economía, Sociedad y Territorio, Vol. IV, núm. 14, Juli-Dezember 2003, El Colegio Mexiquense, Zinacantepec, México, (in press).
- LÖNING, L. (2002): The Impact of Education on Economic Growth in Guatemala: A Time-Series Analysis Applying an Error-Correction Methodology. Diskussionsbeitrag Nr. 87, Ibero-Amerika Institut für Wirtschaftsforschung, Georg-August-Universität Göttingen. 45 S.
- LÖNING, L. (2003): Erhaltung von Biodiversität durch die Förderung von Humankapital – Zur Bedeutung von alternativen Einkommensmöglichkeiten und Wirtschaftswachstum am Beispiel von Guatemala. In: Korn, H. & U. Feit (Bearb.): Treffpunkt Biologische Vielfalt III – Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt. Bundesamt für Naturschutz, Bonn [Hrsg.], S. 61-69.
- LÓPEZ, P. (1998): Potencial de carbono y absorción de dióxido de carbono de la biomasa en pie por encima del suelo en los bosques de la República de Guatemala. Informe de consultoría. Guatemala.
- LÓPEZ, R. & A. VALDÉS [Hrsg.] (2000): Rural poverty in Latin America. New York: St. Martins Press.
- LÜDICKE, K. & P. PANZER (1997): Aufbau von zwei kleinen meteorologischen Messstationen in der Berg-Nebelwaldzone des Alta Verapaz, Guatemala. Praktikumsbericht im Auftrag des Proyecto Eco-Quetzal, Cobán.
- LÜER, B. & A. BÖHMER (2000): Vergleich zwischen Perkolation und Extraktion mit 1 M NH_4Cl -Lösung zur Bestimmung der effektiven Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) von Böden. In: J. Plant Nutr. Soil Sci. 163, S. 555-557.
- LUGO, A. E. (2002): Can we manage tropical landscapes? – an answer from the Caribbean perspective. In: Landscape Ecology 17, S. 601-615.
- LUGO, A., PARROTTA, J. & S. BROWN (1993): Loss in Species Caused by Tropical Deforestation and Their Recovery Through Management. In: Ambio, Vol. 22, No. 2-3, S. 106-109.
- MA, W.-C. (1982): The influence of soil properties and worm-related factors on the concentration of heavy metals in earthworms. In: Pedobiologia 24, S. 109-119.
- MAASS, P. (2002): Im Land der vielen Bäume – Eine ethnologische Studie. In: Leben braucht Vielfalt – Biodiversität, Georgia Augusta 1/2002, S. 60-66.
- MACKENSEN, J. (1998): Untersuchung zur nachhaltigen Nährstoffversorgung in schnellwachsenden Plantagensystemen in Ost-Kalimantan, Indonesien – ökologische und ökonomische Implikationen. Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen, Heft 127. Göttingen. 209 S.

- MACKENSEN, J., HÖLSCHER, D., KLINGE, R. & H. FÖLSTER (1996): Nutrient transfer to the atmosphere by burning of debris in eastern Amazonia. In: *Forest Ecology and Management* 86, S. 121-128.
- MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación) (2001): Mapas digitales a escala 1:250.000 elaborados por el Sistema de Información Geográfica (SIG-MAGA), CD-ROM, Guatemala.
- MALMER, A. (1993): Dynamics of hydrology and nutrient losses as response to establishment of forest plantation. A case study on tropical rainforest land in Sabah, Malaysia. PhD-Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Ecology, Umeå. 54 S.
- MAÑEZ COSTA, M. A. (2003): Strategien und Optionen für den Natur- und Umweltschutz in agrarischen Produktionssystemen – Ein Fallbeispiel aus Guatemala. In: Korn, H. & U. Feit (Bearb.): *Treffpunkt Biologische Vielfalt III – Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt*. Bundesamt für Naturschutz, Bonn [Hrsg.], S. 213-219.
- MARKUSSEN, M. (2002): Pedoökologische Folgen des mennonitischen Landnutzungssystems im Oriente Boliviens (Departamento Santa Cruz). *ibidem-Verlag Hannover*, 175 S.
- MARKUSSEN, M. (2003): GIS-gestützte Bewertung des Landnutzungspotentials zur Schutzgebietsausweisung in Bergnebelwäldern Guatemalas. In: Korn, H. & U. Feit (Bearb.): *Treffpunkt Biologische Vielfalt III – Interdisziplinärer Forschungsaustausch im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt*. Bundesamt für Naturschutz, Bonn [Hrsg.], S. 157-164.
- MARKUSSEN, M. & G. GEROLD (2002): Caracterización y fragmentación de los bosques nubosos y la fertilidad de los suelos en el Departamento Alta Verapaz/Guatemala. In: *Revista Guatemalensis*.
- MARKUSSEN, M. & S. C. RENNER (2002): Landschaftsveränderungen und avifaunistische Diversität in einem guatemaltekischen Bergnebelwald in Alta Verapaz. In: *Landschaft im Wandel – Ökologie im Wandel*. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Band 32. S. 302.
- MARKUSSEN, M. & G. GEROLD (2003): Forest conversion, soil degradation and sustainable development of tropical montane cloud forests in Guatemala (Alta Verapaz). In: *ETFRN News* No. 38. S. 25-27.
- MCARTHUR, R. H. & E. O. WILSON (1967): *The Theory of Island Biogeography*. Monographs in Population Biology 1. Princeton: Princeton University Press.
- MCGRATH, D. A., SMITH, C. K., GHOLZ, H. L. & F. DE ASSIS OLIVEIRA (2001): Effects of Land-Use Change on Soil Nutrient Dynamics in Amazônia. In: *Ecosystems* 4, S. 625-645.
- MENCHÚ TUM, R. & G. BUDOWSKI (1997): Cloud forest in the mountains of Guatemala: support needed for providing protected status. In: *Mountain Research and Development*, Vol. 17, No. 1, S. 91.

- MENDOZA, E. & R. DIRZO (1999): Deforestation in Lacandonia (southeast Mexico): evidence for the declaration of the northernmost tropical hot-spot. In: *Biodiversity and Conservation* 8, S. 1621-1641.
- MENZEL, S. & F.-J. REINHARDT (2002): Can economic valuation of biodiversity contribute to the protection of biodiversity? – examples of valuation by German citizens. In: *Landschaft im Wandel – Ökologie im Wandel. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, Band 32. S. 380.
- MERKEL, B. & B. SPERLING (Bearbeiter) (1996): Hydrogeochemische Stoffsysteme Teil I. DVWK-Schriften 110. Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., 288 S. plus Anhang.
- MERLET, M., FARRELL, G., LAURENT, J.-M., et al. (1992): Identificación de un programa regional de desarrollo sostenible en el trópico húmedo. Informe de consultoría. Paris: Groupe de Recherche et d'Echanges Technologiques.
- MEYER, U. & E. BELOTTI (2000): Einschätzung der Bodenqualität mit Hilfe pflanzlicher und tierischer Bioindikatoren. Texte 36-00 Umweltbundesamt. Forschungsbericht 297. 313 S.
- MICHAUD, F., FOURCADE, E. AZEMA, J., CARBALLO HERNANDEZ, M. A. & J. C. FRANCO AUSTIN (1992): El Cretácico medio y superior de la parte meridional del Bloque Maya (Guatemala). In: *Journal of South American Earth Science*, Vol. 5, No. 3/4, S. 229-236.
- MITTAK, W. L. (1977): GUATEMALA. Estudios para la reforestación nacional. Fortalecimiento al sector forestal. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo & Organización de las naciones unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 64 S. plus Anhang.
- MORAN, E. F., BRONDIZIO, E. S., TUCKER, J. M., CLARA DA SILVA-FORSBERG, M., MCCracken, S. & I. FALESÍ (2000): Effects of soil fertility and land-use on forest succession in Amazonia. In: *Forest Ecology and Management* 139, S. 93-108.
- MOSIER, A. R. (1998): Soil processes and global change. In: *Biol. Fertil Soils*, 27, S. 221-229.
- MOSIMANN, T. (1985): Untersuchungen zur Funktion subarktischer und alpiner Geoökosysteme, Finmark (Norwegen) und Schweizer Alpen. *Physiogeographica*, Basler Beiträge zur Physiogeographie 7.
- MURAGE, E. W., KARANJA, N. K., SMITHSON, P. C. & P. L. WOOPER (2000): Diagnostic indicators of soil quality in productive and non-productive smallholders' fields of Kenya's Central Highlands. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 79, S. 1-8.
- MYERS, N. & R. TUCKER (1987): Deforestation in Central America: Spanish Legacy and North American Consumers. In: *Environmental review* 11,1. American Society for Environmental History. Pittsburgh. S. 55-71.
- MYERS, N. (1981): The hamburger connection: How Central America's forests become North America's hamburgers. In: *Ambio*, 10 (1), S. 3-8.

- MYERS, N. (1992): Tropische Wälder und ihre Arten – Dem Ende entgegen? In: Wilson, E. O. [Hrsg.]: Ende der biologischen Vielfalt? Der Verlust an Arten, Genen und Lebensräumen und die Chancen für eine Umkehr. Spektrum-Verlag. S. 46-53.
- MYERS, N., MITTERMAIER, R. A., MITTERMAIER, C. G., DA FONSECA, G. A. B. & J. KENT (2000): Biodiversity hotspots for conservation priorities. In: Nature, Vol. 403. S. 853-858.
- NADKARNI, N. M. & R. SOLANO (2002): Potential effects of climate change on canopy communities in a tropical cloud forest: an experimental approach. In: Oecologia 131, S. 580-586.
- NATIONAL GEOGRAPHIC (2003): Die faszinierende Welt der Maya und der großen Kulturen Mesoamerikas. 192 S.
- NATIONS, J. & D. KOMER (1983): Rainforests and the Hamburger Society. In: Environment, Vol. 25, No. 3, S. 12-20.
- NATIONS, J. D., HOUSEAL, B., CONCIANO, I., BILLY, S., GODOY, J., CASTRO, F., MILLEC, G., ROSE, D., ROSA, M. R. & C. AZURDIA (1989): Biodiversidad en Guatemala. Evaluación de la diversidad biológica y los bosques tropicales. Centro para el desarrollo internacional y el medio ambiente. World Resources Institute. 185 S.
- NEYROUD, J.-A. & P. LISCHER (2003): Do different methods used to estimate soil phosphorus availability across Europe give comparable results? In: J. Plant Nutr. Soil Sci. 166, S. 422-431.
- OAS - ORGANIZATION OF AMERICAN STATES (1991): República de Guatemala: Proyecto de Manejo y Conservación de los Recursos Naturales Renovables de la Cuenca del Río Chixoy. Washington D.C.
- OCEANO GRUPO EDITORIAL (2002): Enciclopedia de Guatemala Vol. 1 y 2.
- OECD-ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (1999): Handbook of Incentive Measures for Biodiversity. Design and Implementation. 171 S.
- PAFG (1991): Plan de Acción Forestal para Guatemala. Guatemala.
- PAGEL, H. (1981): Grundlagen des Nährstoffhaushaltes tropischer Böden. Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin. 191 S.
- PAGEL, H., ENZMANN, J. & H. MUTSCHER (1982): Pflanzennährstoffe in tropischen Böden – ihre Bestimmung und Bewertung. 272 S.
- PALM, C. A., SWIFT, M. J. & P. L. WOOPER (1996): Soil biological dynamics in slash-and-burn agriculture. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 58, S. 61-74.
- PHILLIPS, J. D. (2001): The Relative Importance of Intrinsic and Extrinsic Factors in Pedodiversity. In: Annals of the Association of American Geographers, 91(4), S. 609-621.
- PICHÓN, F. (1997): Colonist Land-Allocation Decisions, Land Use, and Deforestation in the Ecuadorian Amazon Frontier. In: Economic Development and Cultural Change, Vol. 44, No. 4, S. 707-744.
- PRIMACK, R. B. (1995): Naturschutzbiologie. Spektrum-Verlag. 713 S.

- RAISON, R. J., KHANNA, P. K. & P. V. WOODS (1985a): Mechanisms of element transfer to the atmosphere during vegetation fires. *Canadian Journal of Forest Research* 15, S. 132-140.
- RAISON, R. J., KHANNA, P. K. & P. V. WOODS (1985b): Transfer to elements to the atmosphere during low intensity prescribed fires in three Australian subalpine Eucalypt forests. In: *Canadian Journal of Forest Research* 15, S. 657-664.
- RAMÍREZ-MARCIAL, N., GONZÁLEZ-ESPINOSA, M. & G. WILLIAMS-LINERA (2001): Anthropogenic disturbance and tree diversity in Montane Rain Forests in Chiapas, Mexico. In: *Forest Ecology and Management* 154, S. 311-326.
- RANTA, P., BLOM, T., NIEMELÄ, J., JOENSUU, E. & M. SIITONEN (1998): The fragmented Atlantic rain forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. In: *Biodiversity and Conservation* 7, S. 385-403.
- RENGER, M. (1971): Die Ermittlung der Porengrößenverteilung aus der Körnung, dem Gehalt an organischer Substanz und der Lagerungsdichte. In: *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, Band 130, Heft 1, S. 53-67.
- RENNER, S. C. (2003): Structure and diversity of cloud forest bird communities in Alta Verapaz, Guatemala, and implications for conservation. Dissertation, Universität Göttingen. 91 S.
- RENNER, S.C., MARKUSSEN, M. & M. MÜHLENBERG (2004, i.V.): Human Impact on Bird Diversity and Community Structure in a Tropical Montane Cloud Forest in Alta Verapaz, Guatemala, with special reference to the Quetzal (*Pharomachrus mocinno*). *Springer-Verlag*.
- RUITER, P. C. DE, NEUTEL, A.-M. & J. C. MOORE (1998): Biodiversity in soil ecosystems: the role of energy flow and community stability. In: *Applied Soil Ecology* 10, S. 217-228.
- RICHARDS, J. F. (1990): Land transformation. In: Turner, B. L., Clark, W. C., Kates, R. W., Richards, J. F. & W. B. Meyer [Hrsg.]: *The earth as transformed by human action : global and regional changes in the biosphere over the past 300 years*. Cambridge University Press, Cambridge, England, S. 161-178.
- RICHTER, D. D. & D. MARKEWITZ (2001): *Understanding Soil Change – Soil Sustainability over Millennia, Centuries, and Decades*. Cambridge University Press, 255 S.
- RIESE, B. (2002): *Die Maya. Geschichte, Kultur, Religion*. Becksche Reihe. 143 S.
- ROSENMEIER, M. F., HODELL, D. A., BRENNER, M., CURTIS, J. H. & T. P. GUILDERSON (2002a): A 4000-Year Lacustrine Record of Environmental Change in the Southern Maya Lowlands, Petén, Guatemala. In: *Quaternary Research* 57, S. 183-190.
- ROSENMEIER, M. F., HODELL, D. A., BRENNER, M., CURTIS, J. H., MARTIN, J. B., ANSELMETTI, S. S., ARIZTEGUI, D. & T. P. GUILDERSON (2002b): Influence of vegetation change on watershed hydrology: implications for paleoclimatic interpretation of lacustrine $\delta^{18}\text{O}$ records. In: *Journal of Paleolimnology* 27, S. 117-131.
- ROTHENBÜCHER, J. & M. SCHAEFER (2002): The impact of land use and flooding on the diversity of plant- and leaf-hoppers (Hemiptera: Auchenorrhyncha) in floodplain

- grassland. In: *Landschaft im Wandel – Ökologie im Wandel. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, Band 32. S. 318.
- SADER, S. A., HAYES, D. J., HEPINSTALL, J. A., COAN, M. & C. SOZA (2001): Forest Change Monitoring of a Remote Biosphere Reserve. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 22, No. 10, S. 1937-1950.
- SADER, S. A., REINING, C., SEVER, T. & C. SOZA (1997): Human Migration and Agricultural Expansion. A Threat to the Maya Tropical Forests. In: *Journal of Forestry*, Vol. 95, Num. 12, S. 27-32.
- SADER, S. A., SEVER, T., SMOOT, J. C. & M. RICHARDS (1994): Forest Change Estimates for the Northern Petén Region of Guatemala – 1986-1990. In: *Human Ecology*, Vol. 22, No. 3. S. 317-332.
- SAGASTUME, R. (1992): Informe: Mapa de la Cubierta Forestal de la Republica de Guatemala. 14 S.
- SAIKH, H., VARADACHARI, C. & K. GHOSH (1998): Changes in carbon, nitrogen and phosphorus levels due to deforestation and cultivation: A case study in Simlipal National Park, India. In: *Plant and Soil* 198, S. 137-145.
- SAPPER, C. (1894): Grundzüge der physikalischen Geographie von Guatemala. In: *Petermanns Geogr. Mitteil* 113 (Suppl.). 59 S.
- SAPPER, K. (1899): Über Gebirgsbau und Boden des nördlichen Mittelamerika. *Ergänzungsheft No. 127 zu „Petermann’s Mitteilungen“*. Mit 3 Karten und 25 Profilen. Gotha: Justus Perthes. 119 S.
- SAPPER, K. (1902): Die mittelamerikanische Landschaft. In: *Geogr. Zeitschr.* 8. Jg., 9. Heft, S. 489-515.
- SAPPER, K. (1912a): Über den Kulturwert der verschiedenen Landschaftstypen in den Tropen, insbesondere in Mittelamerika – I. Das regenfeuchte Waldgebiet. In: *Geogr. Zeitschr.* 18(6), S. 305-317.
- SAPPER, K. (1912b): Über den Kulturwert der verschiedenen Landschaftstypen in den Tropen, insbesondere in Mittelamerika – II. Die Typen der offenen Landschaft. In: *Geogr. Zeitschr.* 18(6), S. 387-401.
- SAPPER, K. (1913): Ackerbau in den Altos von Guatemala. In: *Der Tropenpflanzer* 17, S. 191-199.
- SAPPER, K. (1929): Reise nach Süd- und Mittelamerika 1927/28. *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft zu Würzburg*, III./IV. Jahrgang, 183 S.
- SAPPER, K. (1936a): Die Verapaz im 16. und 17. Jahrhundert. Ein Beitrag zur historischen Geographie und Ethnographie des nordöstlichen Guatemala. *Abhandlungen der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-naturwissenschaftliche Abteilung. Neue Folge. Heft 37.* 46 S.
- SAPPER, K. (1936b): *Geographie und Geschichte der indianischen Landwirtschaft*. Ibero-Amerikanisches Institut Hamburg, 98 S.
- SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (1998): *Lehrbuch der Bodenkunde*. Stuttgart, 494 S.

- SCHINNER, F. (1986): Die Bedeutung der Mikroorganismen und Enzyme im Boden. In: Veröffentlichungen der landwirtschaftlichen-chemischen Bundesanstalt Linz/Donau. 11. Seminar: Die Anwendung enzymatischer und mikrobiologischer Methoden in der Bodenanalyse, Bd. 18, S. 15-41.
- SCHRÖDER, J.-M. & J. HEUVELDOP (2002): Agroforstliche Systeme in den Tropen und ihre Bedeutung für die biologische Vielfalt. In: Schriftenreihe des BMVEL „Angewandte Wissenschaft“, Heft 494 „Biologische Vielfalt mit der Land- und Forstwirtschaft?“, S. 153-159.
- SCHULTZ, J. (2000): Handbuch der Ökozonen. UTB für Wissenschaft: Uni-Taschenbücher Nr. 8200. 577 S.
- SCHULZ, U. & D. UNGER (2000): Integration von Landnutzung und Regenwaldschutz – eine Fallstudie aus Guatemala. In: Landnutzungsplanung und Naturschutz. Wissenschaft und Technik-Verlag. S. 94-105.
- SCHULZ, U. & F. MENZEL (2000): Dominante Arthropodentaxa und Sciaridae in Nebelwäldern Guatemalas: Ein Inventarvergleich von hängenden Böden und Waldböden. In: Mitt. Dtsch. Ges. allg. angew. Ent. 12, Giessen, S. 197-202.
- SCHULZE, E.-D. (2000): Der Einfluss des Menschen auf die biochemischen Kreisläufe der Erde. Überarbeitete Fassung des Festvortrages anlässlich der Hauptversammlung der Max-Planck-Gesellschaft in München am 9. Juni 2000. S. 39-58.
- SCHUSTER, J. C., CANO, E. B. & C. CARDONA (2000): Un metodo sencillo para priorizar la conservacion de los bosques nubosos de Guatemala, usando passalidae (coleoptera) como organismos indicadores. Acta Zoologica Mexicana, nueva serie, núm. 80, Instituto de Ecología A.C., Mexico, S. 197-209.
- SCOTT, R. W. (1995): Cretaceous rudists of Guatemala. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, Vol. 12, Número 2, S. 294-306.
- SIMMONS, CH., TARANO, J. M. & J. H. PINTO (1959): Clasificación de Reconocimiento de los Suelos de la República de Guatemala. Editorial José de Pineda Ibarra. Guatemala. 1000 S.
- SOIL SURVEY STAFF (ebenfalls USDA) (1998): Keys to Soil Taxonomy. 8th Edition, Internet-Version: [URL:http://soils.usda.gov/technical/classification/tax_keys/index.html](http://soils.usda.gov/technical/classification/tax_keys/index.html)
- SOUTHGATE, D. (1998): Tropical Forest Conservation. An Economic Assessment of the Alternatives in Latin America. New York: Oxford University Press.
- SSSA (1982): Methods of soil analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Second Edition. American Society of Agronomy, Inc. Soil Science Society of America, Inc. (Publisher).
- STADTMÜLLER, T. (1987): Cloud Forests in the Humid Tropics. A Bibliographic Review. The United Nations University. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. 81 S.
- STANDLEY, P.C. (1946): Food plants of the Indians of the Guatemalan highlands. In: Journal of the Arnold Arboretum 27, S. 395-400.

- STATISCHES BUNDESAMT (1996): Länderbericht Guatemala. 114 S.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (2002) [Hrsg.]: Datenreport 2002. Zahlen und Fakten über die Bundesrepublik Deutschland. In Zusammenarbeit mit dem Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB) und dem Zentrum für Umfragen, Methoden und Analysen, Mannheim (ZUMA) und Bundeszentrale für politische Bildung. 640 S.
- STEYERMARK, J. A. (1950): Flora auf Guatemala. In: Ecology, Volume 31, Issue 3, S. 368-372.
- TANNER, E. V. J. (1977): Four montane rain forests of Jamaica: a quantitative characterization of the floristics, the soils and the foliar mineral levels, and a discussion of the interrelations. In: Journal of Ecology 65, S. 883-918.
- TERMER, F. (1936): Zur Geographie der Republik Guatemala. 1. Teil: Beiträge zur physischen Geographie von Mittel- und Süd-Guatemala. Mitteilungen Geogr. Ges. Hamburg 46, 276 S.
- TERMER, F. (1941): Zur Geographie der Republik Guatemala. 2. Teil: Beiträge zur Kultur- und Wirtschaftsgeographie von Mittel- und Süd-Guatemala. Mitteilungen Geogr. Ges. Hamburg 47, 262 S.
- TIEDEMANN, K. (2001): Der Wasserhaushalt der Nebelwälder im Schutzgebiet 'Bilsa' (Ecuador) und das Wiederaufforstungspotential angrenzender Weideflächen. Dissertation. RWTH Aachen. 126 S. plus Anhang.
- THIELEMANN, L. (o.J.): Förderung des Apfelanbaues als Alternative zum Brandrodungsmaisbau in der Nebelwaldregion von Alta Verapaz, Guatemala. Proyecto Ecologico Quetzal.
- TOBIAS VASQUEZ, H. A. (1985): Informe sobre los suelos en los sitios de investigación silvicultural del proyecto Leña en Guatemala. Proyecto Leña y Fuentes Alternas de Energía. Acuerdo INAFOR-CATIE/ROCAP. Centro Agronomico Tropical de Investigación y enseñanza. Instituto Nacional Forestal. o.S.
- TOBIAS, H. A. (1993): Suelos de Guatemala de acuerdo a la Clasificación FAO-UNESCO. o.S.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (o.J.): Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. John Wiley, New York, 754 S.
- UNEP-UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (1999): Cultural and Spiritual Values of Biodiversity. A Complementary Contribution to the Global Biodiversity Assessment. Nairobi, Kenia. 731 S.
- UNGER, H. (1960): Der Zellulosetest, eine Methode zur Ermittlung der zellulolytischen Aktivität des Bodens in Feldversuchen. In: Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 91, S. 44-52.
- UNICEF (2002): Guatemala: Realidad Socioeconómica. 304 S.
- UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS (1997): Criterios para recomendar el manejo de la fertilidad del suelo. I Curso Nacional de Post-Grado. Facultad de Agronomía, Subárea manejo de suelo y agua. 213 S.

- UPROBON (2000): Schutzgemeinschaft Nebelwald: 1. Vereinsbericht. Union para Proteger el Bosque Nuboso. Cobán, Guatemala. Unveröffentlicht. 9 S.
- URWALDFORSCHUNG (2002): Postgraduierten- und Nachwuchsförderungsprogramm internationale und interdisziplinäre Urwaldforschung, Teilnehmerbericht Teil 2, Guatemala – Proyecto Ecológico Quetzal, Nebelwaldgebiet in Alta Verapaz – tropische Regenwälder -.
- UTTING, P. (1992): Trees, People and Power. Social Dimensions of Deforestation and Forest Protection in Central America. Geneva: United Nations Research Institute for Social Development y World Wildlife Fund.
- VALENZUELA DE PISANO, H. (1993): La expansión agrícola y la deforestación tropical en Guatemala. Documento de trabajo. Instituto de las Naciones Unidas para la Investigación sobre los aspectos sociales del desarrollo (UNRISD) y Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF). 84 S.
- VALENZUELA DE PISANO, I. (1996): Agricultura y Bosque en Guatemala. Estudio de caso en Petén y Sierra de las Minas. UNRISD/WWF, Universidad Rafael Landívar. 244 S.
- VEBLEN, T. T. (1976): The urgent need for forest conservation in highland Guatemala. In: Biol. Conserv. (9), S. 141-154.
- VENEKLAAS, E. J. (1990): Rainfall interception and above-ground nutrient fluxes in Colombian montane tropical rain forest. PhD thesis, University of Utrecht, Niederlande.
- VILLAR ANLEU, L. (1998a): La flora silvestre de Guatemala. Editorial Universitaria, Colección Manuales Vol. No. 6, Universidad de San Carlos de Guatemala. 99 S.
- VILLAR ANLEU, L. (1998b): La fauna silvestre de Guatemala. Editorial Universitaria, Colección Manuales Vol. No. 7, Universidad de San Carlos de Guatemala. 63 S.
- VILMER THESEN ZUR BIODIVERSITÄT (2003): In: Natur und Landschaft, Heft 1, S. 31f.
- VOIGT, M. (in Vorbereitung): Fernerkundungs- und GIS-gestützte Landnutzungs-klassifikationen und Change Detection im Bergnebelwaldgebiet der Montaña Yalijux (Guatemala). Universität Göttingen.
- VOSTI, S. & T. REARDON (1997): Poverty-Environment Links in Rural Areas of Developing Countries. In: Vosti, S. & T. Reardon (Hrsg.): Sustainability, Growth, and Poverty Alleviation. A Policy and Agroecological Perspective. Baltimore: John Hopkins University Press, S. 47-65.
- WAID, J. S. (1999): Does soil biodiversity depend upon metabiotic activity and influences? In: Applied Soil Ecology 13, S. 151-158.
- WALPER, J. (1960): Geology of Cobán Purulhá area, Alta Verapaz, Guatemala. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, Vol. 44, S. 1273-1314.
- WAMBEKE, A. VAN (1992): Soils of the Tropics. Properties and Appraisal. 343 S.
- WEHRHAHN, R. & S. BOCK (1998): Landnutzungswandel und Umweltveränderungen im Küstenraum von São Paulo: Untersuchungen anhand von Luftbildern und Landsat-TM-Daten. In: Die Erde, 129, S. 177-194.

- WEYL, R. (1980a): Geology of Central America. Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde. Gebrüder Borntraeger, Band 15. Berlin, Stuttgart. 371 S.
- WEYL, R. (1980b): Geología de Centro America Norte. 34 S.
- WIELAND, J. & N. FOBES (1993): Göttervogel im Nebelwald. In: GEO- Das neue Bild der Erde, Nr. 10, Oktober, S. 102-120.
- WILHELMY, H. (1981): Welt und Umwelt der Maya. Aufstieg und Untergang einer Hochkultur. 542 S.
- WILKEN, G. C. (1987): Good Farmers: Traditional Agricultural Resource Management In Mexico And Guatemala. University of California Press, Berkeley. 302 S.
- WILKIE, J. W. (Hrsg.) (1993): Statistical Abstract of Latin America. Los Angeles: UCLA Latin American Center Publications, Vol. 30, Parts 1 and 2.
- WILLIAMS, L. O. (1970): Geographical localities in Guatemala. Taxon – Journal of the international association for plant taxonomy 19(3), S. 486-487.
- WILLKOMM, H. (1990): Die Radiokohlenstoffdatierung (¹⁴C-Datierung). In: K. Göttlich [Hrsg.]: Moor- und Torfkunde. S. 147-155.
- WILSON, E. O. (1988): Biodiversity. National Academy of Sciences, Washington.
- WILSON, E. O. (1997): Der Wert der Vielfalt – Die Bedrohung des Artenreichtums und das Überleben des Menschen. Serie Piper, 512 S.
- WILSON, E. O. [Hrsg.] (1992): Ende der biologischen Vielfalt? Der Verlust an Arten, Genen und Lebensräumen und die Chancen für eine Umkehr. Spektrum-Verlag. 557 S.
- WISSENSCHAFTLICHER BEIRAT DER BUNDESREGIERUNG GLOBALE UMWELTVERÄNDERUNGEN (WBGU) (1994): Welt im Wandel: die Gefährdung der Böden. Jahresgutachten 1994. Economica Verlag, Bonn. 263 S.
- WORLD BANK (1995a): Guatemala: Tenencia Agraria y Manejo de los Recursos Naturales. Reporte No. 14553-GU. Washington D.C.
- WORLD BANK (2001): World Development Indicators. 396 S.
- WORLD BANK (2003): Guatemala. Poverty in Guatemala. Report No. 24221 GU. 311 S.
- WORLD CONSERVATION MONITORING CENTRE (1994): Priorities for Conserving Global Species Richness and Endemism. by Caldecott, J. O., Jenkins, M. D., Johnson, T. & B. Groombridge. World Conservation Press, Cambridge, UK. 36 S. (http://www.unep-wcmc.org/resources/publications/biodiv_series.htm)
- WRI (World Resources Institute) (1996): World resources 1996-97. A guide to the global environment. New York: Oxford University Press.
- ZAHORKA, H. (2002): Tropischer Regenwald – Ökologische und soziale Funktion. Das Beispiel Südostasien. Libertas Verlag, Sindelfingen. 67 S.
- ZINCK, A. (1986): Los Suelos. Características y fragilidad de los suelos en ambiente de Selva Nublada: el ejemplo de Rancho Grande. In: Huber, O. (Hrsg.): La Selva Nublada de Rancho Grande Parque Nacional “Henri Pittier”. Fondo Editorial Acta Científica Venezolana, Caracas.

ZUBILLAGA, M. S. (o.J.): Manejo del Fósforo en Maíz. 4 S.

<http://www.fertilizar.org.ar/articulos/Manejo%20del%20Fosforo%20en%20Maiz.htm>,

13. KARTENVERZEICHNIS

- Instituto Geográfico Nacional (1975): Mapa climatológico preliminar de la República de Guatemala según el sistema Thornthwaite. 1:1.000.000.
- Instituto Geográfico Nacional (1996): Tactic. 1:50.000. Edición 2-NIMA, Series E754, Sheet 2161 IV.
- Instituto Geográfico Nacional (1997): Caquipec. 1:50.000. Edición 2-NIMA, Series E754, Sheet 2162 II.
- Instituto Geográfico Nacional (1997): Tukurú. 1:50.000. Edición 2-NIMA, Series E754, Sheet 2161 I.
- Instituto Geográfico Nacional (1999): Cobán. 1:50.000. Edición 2-NIMA, Series E754, Sheet 2162 III.
- Instituto Geográfico Nacional (o.J.): Cobán. 1:250.000. Edición 1-IGN-AMS, ND 15-4 Series E503.
- Instituto Guatemalteco de Turismo & IGN (1996): Mapa Vial Turístico Guatemala.
- International Travel Maps (2001): Guatemala, 1:500.000. Canada.
- Luftbilder vom 12.02.2000: SNA NIMA/GUATEMALA 1:40.000, c=152.671, Bilder 0918-0923, 6 Luftbilder.
- Luftbilder vom 14.02.1991: DMA/SNA R-8 L-19-1, 1618-1621, 4 Bilder, Maßstab 1:60000.
- Luftbilder vom 20.01.2000: SNA NIMA/GUATEMALA 1:40.000, c=152.671, Rollo 2 - Linea 1, Bilder 0180-0185, 6 Luftbilder, Maßstab 1:40.000, Side Lap 30%, Lap. 60%, Run Spacing 6440m, Base Length 3680m).
- Luftbilder vom 23.01.1964: VV HURD-M-6 AMS 1-23-64 AID 2, Bilder 1017-1023. 7 Luftbilder.
- Ministerio de comunicaciones y obras públicas - IGN (1976): Mapa geológico de Guatemala: Cobán. 1:50.000.
- Ministerio de comunicaciones y obras públicas - IGN (o.J.): Formas de la Tierra. Serie: Atlas Nacional de Guatemala. 1:1.000.000.
- Proyecto de Evaluación Forestal FAO-FYDEP & IGN (1968): Mapa de los suelos de El Peten (Relacionado a su uso y Potencialidad). 1:500.000.
- Satellitenbild vom 14.04.1986: Landsat 5, Path: 020, Row: 049, Scene ID: LT5020049008610410.
- Satellitenbild vom 23.01.2000: Landsat ETM+, Path: 020, Row: 049.
- World mapping Project (2001): Guatemala/Belize. 1:500.000.

14. EPILOG

„Die Mayaruinen von Tikal in Guatemala sind einer der besten Plätze zur Beobachtung der vielfältigen mittelamerikanischen Tierwelt. Von den Maya wegen ihrer Früchte und Nüsse angepflanzte Bäume haben die Trümmer der Stadt überwuchert und stellen heute eine fast nie versiegende Nahrungsquelle für Vögel, Insekten und Affen dar, die hier überall sehr zahlreich sind. Die zerfallenen Paläste bilden eine spektakuläre Bühne für das Balzzeremoniell des Pfauentruthuhnes, während die pyramidenartigen Tempel günstige Aussichtspunkte für Blicke in die Kronenschicht des tropischen Regenwaldes bieten. Der Ausblick von der Spitze des höchsten Tempels auf die Halbinsel Yucatan bei Sonnenaufgang ist atemberaubend; die unvergeßlichen Rufe der Brüllaffen klingen wie ein wilder Wirbelsturm, der durch den Wald fegt, und die Schreie der Rotbrustfalken hallen von den Palastmauern über hundert Meter weiter unten wider. Dieser scheinbar ungezähmte Dschungel war einst das Zentrum einer bedeutenden menschlichen Zivilisation, die sich über ganz Mittelamerika erstreckte. Vor 1000 Jahren glich der Ausblick von der Spitze des Tempels in Tikal vermutlich jenem, den wir heute von der Spitze des World Trade Center in Manhattan haben. An beiden Orten ersetzten die Menschen den natürlichen Lebensraum und schufen als Symbole ihres Erfolgs und ihrer Vorherrschaft riesige Tempel.

Der Ausblick vom höchsten Punkt der Ruinen von Tikal sollte uns zum Nachdenken bewegen. Warum brach das Reich der Maya zusammen? Könnte den riesigen Handelsreichen, die von Manhattan und anderen urbanen Zentren aus in die ganze Welt ausstrahlen, möglicherweise etwas Ähnliches passieren? Wie wird der Ausblick von der Spitze des World Trade Center in 1000 Jahren aussehen?

In Tikal hat der tropische Regenwald die kunstvollen, als Behausungen und Kultstätten der Maya gebauten Höfe und Pyramiden zurückerobert. Auf die Frage, warum das Mayareich zusammenbrach, wurde bisher keine völlig befriedigende Antwort gefunden; Hinweise aus jüngster Zeit deuten darauf hin, daß eine ausgedehnte Dürre, möglicherweise ausgelöst durch die umfangreiche Entwaldung in der Umgebung von Tikal, eine Rolle gespielt haben könnte. Vielleicht wurden die Bäume abgebrannt, um die Wärme zu liefern, die zur Herstellung der Stuckarbeiten für die kunstvoll verzierten Friese der Mayatempel nötig waren. Um einen kleinen, nur meterhohen Kalkpfeiler zu erzeugen, der die Basis dieser Stuckarbeiten bildet, war das Holz von ungefähr 20 großen Bäumen erforderlich. Die Maya mußten riesige Waldstücke roden und abbrennen, um ihre zunehmend kunstvolleren Tempel zu verzieren, aber auch um Holz für den Hausbau und zum Feuermachen zu gewinnen. Die Entwaldung führte sicherlich zur Erosion der Böden, die wiederum die Ernten verringerte und wahrscheinlich überall Hunger, Unruhen und jene Reihe von Bürgerkriegen nach sich zog, die möglicherweise unter anderem den Zerfall der klassischen Mayazivilisation um das Jahr 800 unserer Zeitrechnung heraufbeschwor.

Tikal ist bei weitem nicht die einzige alte Zivilisation, die infolge ökologischer Verarmung zusammenbrach. Ein ähnliches Schicksal widerfuhr der Bevölkerung der einstmalig paradiesischen Osterinsel, der östlichsten der im Indischen Ozean gelegenen polynesischen Inseln. Die kleine Population, die im 5. Jahrhundert die Insel besiedelte, war um 1550 auf rund 7000 Menschen angewachsen. Während dieser Jahrhunderte des Wachstums spaltete sich die Bevölkerung in mehrere konkurrierende Stämme auf, die in verschiedenen Teilen der Insel gewaltige Zeremonienstatuen errichteten. Irgendwann im 16. Jahrhundert erlebte die Bevölkerung der Osterinsel einen dramatischen Zusammenbruch. Wiederum legen archäologische Indizien nahe, daß der Niedergang die Folge des Rodens der Wälder der Inseln war, um der wachsenden menschlichen Bevölkerung Ackerflächen und außerdem Baumstämme zu liefern, auf denen die Felsen für die Statuen über die Insel gerollt werden konnten. Die vollständige Entwaldung führte wiederum zur Erosion und zum Verlust der obersten Bodenschicht. Als kein Holz mehr für den Bau von Häusern oder Kanus übrig war, konnten die Bewohner nicht mehr auf Fischfang gehen oder auf eine andere Insel ausweichen und waren so gezwungen, in Höhlen zu leben, die sie in die

Berge gegraben hatten. Schließlich gab es auch kein Brennholz mehr, um Essen zu kochen, und die Gesellschaft erlebte einen Zusammenbruch bis hin zur Anarchie: Jeder Stamm griff die Statuen des anderen an und stürzte sie um. Als europäische Forscher in den dreißiger Jahren des 19. Jahrhunderts zum erstenmal die Osterinsel besuchten, waren die wenigen hundert noch immer dort lebenden Menschen zu einer primitiven Steinzeitkultur zurückgekehrt. Sie konnten sich nicht einmal mehr daran erinnern, wie ihre Vorfahren die riesigen Felsen von dem einzigen Steinbruch der Insel wegtransportiert hatten.

Die meisten frühen menschlichen Zivilisationen scheinen infolge irgendeiner Form der übermäßigen Ausbeutung natürlicher Ressourcen durch Zivilstreitigkeiten zerfallen zu sein. Die allerersten Siedler in den Tälern des Tigris und Euphrat gingen zugrunde, weil sie ihr Land zu stark ausbeuteten, um einer ständig wachsenden menschlichen Bevölkerung Nahrung zu beschaffen. Die für den Ackerbau in dieser Region notwendigen Bewässerungsprojekte bewirkten letztendlich eine Versalzung der Böden entlang der Flußtäler, was wiederum zu Unterernährung, Bürgerunruhen und Krankheiten führte. Die ehemals bevölkerungsreichen Gebiete, in denen sich einst die Landwirtschaft entwickelte, wurden in der Folge langsam aufgegeben, und neue Waldgebiete entlang des Nils und andere Teile des Mittelmeerraumes wurden besiedelt und in Ackerland umgewandelt.

In der Vergangenheit entgingen menschliche Populationen einer übermäßigen lokalen Ausbeutung der natürlichen Ressourcen, indem sie in neue Gebiete abwanderten. Heute gibt es aber keine neuen Kontinente oder Inseln mehr, auf die man abwandern könnte; wir sind genauso isoliert wie die Eingeborenen der Osterinsel im 16. Jahrhundert. Wenn wir ihr Schicksal oder das der Maya vermeiden wollen, müssen wir Wege finden, um die biologische Vielfalt zu erhalten, die uns das Überleben ermöglicht. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen wir Möglichkeiten finden, wie wir unser eigenes Bevölkerungswachstum unter Kontrolle bringen können.

Tikal, Manhattan und die Osterinsel liefern uns heute drei unterschiedliche Perspektiven auf das, was mit der Erde und der menschlichen Gesellschaft geschehen kann. Tikal wurde von der Natur vorübergehend wieder zurückerobert, so daß Besucher hier den reichhaltigen tropischen Regenwald bewundern können. Die zerfallenen Maya-Ruinen erinnern uns an die Zerbrechlichkeit der menschlichen Zivilisation; ihr Fortbestand hängt weit weniger massiv von Macht und Innovation ab als von einem vernünftigen Umgang mit der komplexen Vielfalt anderer Arten, die unseren Bedarf an Lebensnotwendigem decken. Die Alternative ist die Osterinsel, die nach wie vor ökologisch verarmt ist; ihre berühmten Statuen stehen als Monumente für die Unfähigkeit des Menschen, seine Abhängigkeit von anderen Arten zu erkennen. Wenn wir unserer Bevölkerung weiterhin erlauben, zu wachsen und die natürlichen Ressourcen der Erde mit zunehmender Geschwindigkeit auszubeuten, ist es schwer sich vorzustellen, wie wir ein ähnliches Schicksal wie das der Eingeborenen der Osterinsel vermeiden können. Als Ökologe und Evolutionsbiologe hege ich immer noch einen Rest von Optimismus, daß bei einem Zusammenbruch der menschlichen Bevölkerung die überlebenden Anteile der biologischen Vielfalt den Planeten wiederbesiedeln werden, ganz ähnlich wie sie es in Tikal taten. Natürlich wird sich keine der von uns ausgelöschten Arten je wieder entwickeln – und genausowenig unsere eigene. In einer kürzeren Zeit als die zwei bis fünf Millionen Jahre, in denen der Mensch die Erde bewohnte, wird unser einziges Vermächtnis ein sich langsam erholender, aber biologisch verarmter, kleiner blauer Planet sein. Ich hoffe, dieses Buch liefert eine kurze, optimistische Einführung in die Wissenschaft, die eine alternative Lösung zu der pessimistischen Reise von Manhattan nach Tikal und zur Osterinsel bietet.“

aus: DOBSON (1995), S. 305-308

15. ANHANG

Profil LP 1
 Lage: 50 m oberhalb der biologischen Station Chicacnab
 Höhe üNN/ Neigung: 34°
 Bodentyp: Oxic Humitropepts (FAO: Ferralic Cambisol)
 Vegetation/ Landnutzung: Primärer Bergnebelwald
 Geologische Situation: Kalkstein, tief verwittert, erste Skelettanteile in 1 m Tiefe
 Hydrologie: Grundwasseranreicherung in 1 m Tiefe, Oxidationsmerkmale
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: > wp 4 (1 m nachweisbar)

Bodenphysikalische Parameter																
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton	
0-10	Ah	Ut4	5YR2/2	n.b.	0,0	3,2	14,4	11,4	6,7	10,9	10,2	43,3	29,0	27,7	43,3	
10-19	AhBv	Ut4	10YR4/4	0,8	1,9	2,7	7,6	13,3	13,0	12,6	9,7	41,1	23,6	35,3	41,1	
19-40	Bv1	Lu	10YR5/6	1,1	2,7	2,8	5,8	10,1	8,3	14,3	11,4	47,3	18,8	34,0	47,3	
40-100	Bv2	Tu4	10YR6/6	1,2	0,7	1,6	4,6	8,1	11,2	16,3	14,5	43,6	14,3	42,0	43,6	
100+	BvCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügeform	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK	SV [Vol.-%]
0-10	Ah	W6	2-3	kru	33,5	20,3	5,3	15,4	74,4	33,5	289,1	32,5	15,4	25,6
10-19	AhBv	W3	2	koh	32,2	21,0	5,4	15,4	74,0	32,2		36,4	15,4	26,0
19-40	Bv1	W2	2-3	koh	36,3	16,9	2,5	10,1	65,8	36,3		58,9	10,1	34,2
40-100	Bv2	W1	3	koh	34,0	14,3	2,6	9,2	60,0	34,0		161,3	9,2	40,0
100+	BvCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		n.b.	n.b.	n.b.

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf [µS/cm]	C _i [%]	N _t [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
0-10	Ah	3,95	4,45	4,20	792,0	35,2	1,8	19,2	33,0	0,0	848,8		1952,2
10-19	AhBv	4,07	4,55	4,26	299,0	8,2	0,6	13,0	22,4	0,0	n.b.		n.b.
19-40	Bv1	4,31	5,03	4,41	36,9	2,3	0,2	9,9	17,0	0,0	n.b.		n.b.
40-100	Bv2	4,12	4,91	4,24	31,0	0,6	0,1	5,8	9,9	0,0	n.b.		n.b.
100+	BvCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																	
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _e /kg Boden]										BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}	Na					K	Mg	
0-10	25,5	7,3	1,8	0,3	0,5	0,3	3,5	0,0	39,3	88,9	1,3	3,5	4,0	1274,8	12164,2	10317,5	
10-19	3,5	0,8	0,4	0,1	3,6	0,1	0,7	0,0	9,2	51,5	39,1	4,4	2,1	1736,7	19629,2	16285,3	
19-40	0,7	0,2	0,2	0,0	2,6	0,0	0,1	0,0	3,8	27,9	67,9	4,1	1,1	1459,0	23906,1	20883,9	
40-100	1,2	0,4	0,1	0,0	5,2	0,1	0,2	0,0	7,2	23,6	73,1	3,2	4,5	818,0	28963,5	30577,1	
100+	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-10	8536,8	1,5	2596,4	18148,1	0,0	5,4	0,0	50,0	35104,1	992,7	1260,9	0,0	0,0	0,0	0,0	
10-19	2967,3	22,4	1949,7	29672,5	0,0	67,1	0,0	73,8	58549,1	635,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
19-40	1688,0	31,3	1177,4	35209,6	0,0	42,5	0,0	123,1	72025,0	344,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
40-100	780,7	45,5	1005,9	37801,1	0,0	147,3	0,0	216,2	80180,3	249,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
100+	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

Tabelle 32: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 1 Primärer Bergnebelwald, ohne Nutzung

Profil LP 2

Lage: 15°22,898'N / 90°11,031'W

Höhe üNN/ Neigung: 2320 m / 27°

Bodentyp: Typic Eutropepts (FAO: Eutric Cambisol)

Vegetation/ Landnutzung: Guamil seit 2 Jahren, vorher *milpa*, viele Unkräuter, Buschvegetation bis zu 1 m, Farn, Gras, Disteln, Grüne Beeren

Geologische Situation: Kalkstein, tief verwittert, kein Skelettanteil, oberhalb am Hang Grus und Gesteinsblöcke

Hydrologie: Grundwasserfern

Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: > wp 5

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-5	Ah	Ls4	7,5YR3/2	1,0	4,6	9,3	15,2	14,1	9,8	6,7	9,4	35,4	38,6	25,9	35,4
5-48	M	Lt3	10YR5/6	0,9	3,6	5,7	13,6	12,7	7,4	10,2	9,7	40,6	32,0	27,4	40,6
48-52	fAh	Ls4	10YR2/2	n.b.	0,7	4,2	7,8	12,6	11,5	10,0	9,3	44,5	24,7	30,8	44,5
52-65	fAhBv	Ts2	10YR5/3	0,9	2,1	5,1	8,5	14,4	13,6	0,4	7,6	50,4	28,0	21,6	50,4
65-120	fBv	Lts	10YR6/6	1,2	2,6	7,8	12,8	15,3	11,8	7,8	8,4	36,2	35,9	28,0	36,2

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügeform	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK	SV [Vol.-%]
0-5	Ah	W 3	2-3	koh	28,2	13,1	3,5	12,5	57,3	28,2	183,9	11,8	12,5	42,7
5-48	M	W 4	2-3	koh	30,7	12,6	5,4	12,0	60,7	30,7		83,9	12,0	39,3
48-52	fAh	W 1	2-3	koh	34,3	18,3	5,2	14,9	72,7	34,3		13,4	14,9	27,3
52-65	fAhBv	W 1	2-3	koh	37,1	12,8	5,0	10,1	65,0	37,1		28,5	10,1	35,0
65-120	fBv	W 1	2	koh	27,7	9,3	3,4	9,2	49,6	27,7		46,3	9,2	50,4

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf	C _i	N _i	C/N	Humus	CaCO ₃	P		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂	[μS/cm]	[%]	[%]		[%]	[%]	[mg/kg Boden]		
0-5	Ah	5,22	5,78	5,38	269,0	6,3	0,5	12,1	10,8	0,0	86,8		199,6
5-48	M	4,89	5,50	5,31	61,0	2,0	0,2	9,5	3,4	0,0	n.b.		n.b.
48-52	fAh	5,56	6,13	5,81	95,1	8,0	0,6	13,9	13,8	0,0	n.b.		n.b.
52-65	fAhBv	5,50	6,12	5,81	76,5	4,0	0,4	11,3	6,9	0,0	n.b.		n.b.
65-120	fBv	5,07	5,67	5,49	37,0	0,8	0,1	7,7	1,4	0,0	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _e /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
0-5	10,9	2,7	0,8	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	14,6	98,6	0,2	4,0	3,6	857,4	28580,6	31736,1
5-48	4,5	1,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	6,0	95,3	3,6	4,1	7,5	889,6	32461,9	36935,3
48-52	17,0	3,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	20,8	99,7	0,0	4,7	26,8	1225,3	24859,9	31602,1
52-65	8,6	1,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,6	99,5	0,1	4,6	19,8	1418,1	25685,9	32082,2
65-120	3,0	1,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	4,2	96,9	2,8	2,9	16,3	667,6	30237,4	42905,4

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-5	4136,4	40,0	481,3	37834,3	0,0	144,7	0,0	63,9	68699,9	445,7	276,4	0,0	0,0	0,0	0,0	
5-48	2220,1	57,0	480,9	42790,0	0,0	90,7	0,0	65,6	81232,6	247,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
48-52	6710,8	30,3	774,5	36528,6	0,0	126,2	0,0	45,2	63381,2	616,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
52-65	3887,6	29,5	444,0	35508,4	0,0	116,4	0,0	26,0	66761,1	412,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
65-120	1278,6	40,2	580,6	40931,3	0,0	129,9	0,0	63,6	72767,9	119,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tabelle 33: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 2, Guamil, Buschbrache

Profil LP 3

Lage: 15°22,902'N / 90°10,934'W

Höhe üNN/ Neigung: 2281 m, 30°

Bodentyp: Oxic Dystropepts (FAO: Dystric Cambisol)

Vegetation/ Landnutzung: *Milpa*, Rodung vor ca. 15 Jahren

Geologische Situation: tief verwittert, wenig Skelettanteil, Bv2 durchzogen von Quarzgängen und anderen stark verwitterten Gesteinsstücken, die aber beide nicht kalkhaltig sind

Hydrologie: grundwasserfern

Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: > wp5

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-12	Ah	Lts	10YR4/3	0,4	0,0	1,4	3,9	6,3	11,3	13,9	11,7	51,4	11,6	36,9	51,4
12-55	Bv1	Ts2	10YR7/8	1,2	0,1	1,1	1,4	12,8	13,5	14,3	8,7	48,1	15,4	36,6	48,1
55-100	Bv2	Ts3	10YR6/8	1,4	14,7	4,7	2,7	1,7	10,0	22,8	15,3	42,7	9,2	48,1	42,7

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügestufe	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK [Vol.-%]	SV [Vol.-%]
0-12	Ah	W 4	2-3	kru	39,1	19,6	4,9	13,0	76,6	39,1	128,9	41,5	13,0	23,4
12-55	Bv1	W 1	2	koh	35,9	9,2	2,4	5,6	53,1	35,9		49,8	5,6	46,9
55-100	Bv2	W 1	2	koh	32,5	5,5	2,9	2,7	43,5	32,5		37,6	2,7	56,5

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [µS/cm]	C _t [%]	N _t [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
0-12	Ah	4,07	4,50	4,30	1189,0	25,7	1,5	17,7	44,2	0,0	547,2		1258,6
12-55	Bv1	3,39	4,27	3,83	41,0	0,5	0,1	7,0	0,9	0,0	n.b.		n.b.
55-100	Bv2	3,79	4,48	3,95	29,5	0,3	0,1	4,6	0,5	0,0	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _e /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
0-12	26,9	4,9	0,6	0,2	0,9	0,2	3,1	0,1	36,9	88,4	2,5	5,5	8,1	1167,4	14266,9	6473,8
12-55	0,5	0,2	0,1	0,0	8,4	0,6	0,0	0,0	9,9	8,2	85,6	2,9	1,4	604,6	27705,6	9887,7
55-100	0,2	0,1	0,1	0,0	3,5	0,2	0,0	0,0	4,1	8,5	85,0	3,1	1,3	574,7	32104,0	9568,7

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-12	7823,7	8,0	1304,5	24448,8	0,0	17,3	0,0	1,5	41374,9	730,6	641,9	0,0	0,0	0,0	0,0	
12-55	242,1	46,7	0,0	47243,0	0,0	111,2	0,0	0,0	73096,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
55-100	185,3	37,4	244,8	41778,3	0,0	95,2	0,0	21,0	75458,7	25,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tabelle 34: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 3, *milpa*, vor ca. 15 Jahren gerodet

Profil LP 4
 Lage: 15°22,812' N / 90°10,685' W
 Höhe üNN/ Neigung: 2275 m, 25°
 Bodentyp: Oxic Humitropepts (FAO: Ferralic Cambisol)
 Vegetation/ Landnutzung: descanso, freigelegt und geputzt, um Reforestation anzulegen
 Geologische Situation: Kalkstein, tief verwittert, Skelettanteil
 Hydrologie: Grundwasserfern
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: > wp5

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-9	Ah	Ts2	10YR5/4	0,8	1,8	5,6	5,1	5,5	8,4	12,2	12,1	51,0	16,3	32,7	51,0
9-60	Bv1	Ts2	10YR6/8	1,1	0,8	3,8	3,8	4,5	9,7	3,4	12,5	62,2	12,1	25,6	62,2
60-120	Bv2	Tu3	10YR4/6	1,1	2,4	6,5	6,3	5,0	11,2	17,9	16,5	36,6	17,9	45,6	36,6

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügestufe	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK [Vol.-%]	SV [Vol.-%]
0-9	Ah	W 3	3	kru	38,7	17,4	5,0	13,3	74,4	38,7	140,9	29,1	13,3	25,6
9-60	Bv1	W 1	2	koh	45,1	6,5	1,6	3,4	56,6	45,1		54,1	3,4	43,4
60-120	Bv2	W 0	2-3	koh	28,4	11,4	3,0	7,5	50,3	28,4		57,6	7,5	49,8

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [μS/cm]	C _t [%]	N _t [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
0-9	Ah	3,98	4,52	4,14	183,0	7,1	0,5	14,2	12,2	0,0	88,6		203,8
9-60	Bv1	4,01	4,63	4,16	34,4	1,2	0,1	10,8	2,1	0,0	n.b.		n.b.
60-120	Bv2	4,01	4,77	4,29	29,2	0,3	0,1	5,0	0,5	0,0	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _c /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
0-9	2,4	0,6	0,6	0,0	3,6	0,2	0,1	0,1	7,7	46,9	47,4	3,9	1,1	1745,1	24135,9	9768,4
9-60	0,3	0,1	0,1	0,0	3,5	0,1	0,1	0,0	4,3	12,7	82,1	2,8	0,8	934,7	30863,0	11484,9
60-120	0,2	0,1	0,1	0,0	1,9	0,1	0,2	0,0	2,6	18,1	71,7	3,6	0,5	591,5	36839,3	11506,0

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-9	2173,8	25,0	228,4	49518,1	0,0	37,3	0,0	186,8	76752,7	550,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
9-60	583,4	36,0	814,0	58435,1	0,0	148,4	0,0	442,3	97450,0	182,3	0,0	0,0	0,0	0,0	16,6	
60-120	230,2	43,8	2465,5	45326,9	0,0	117,3	0,0	1300,0	97212,6	249,6	0,0	0,0	0,0	0,0	249,3	

Tabelle 35: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 4, descanso, für Reforestation

Profil LP 5
 Lage: 15°22,134' N / 90°11,632' W
 Höhe üNN/ Neigung: 2249 m, 18°
 Bodentyp: Typic Eutropepts (FAO: Ferralic Cambisol)
 Vegetation/ Landnutzung: *milpa*, utz'uuch, Hausgarten-Charakter, vor 60 Jahren gerodet
 Geologische Situation: Kalkstein
 Hydrologie: Grundwasserfern, aber deutliche Aushöhlung, Anzeichen für starke subterrane hydrologische Prozesse
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: > wp5

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-2	Ah	Ut3	10YR2/1	n.b.	1,0	25,3	26,7	16,5	5,9	3,7	6,2	15,7	68,5	15,8	15,7
2-35	Bv1	Tu4	10YR5/8	0,7	0,6	31,8	29,2	12,6	6,1	0,6	3,0	16,7	73,6	9,7	16,7
35-100	Bv2	TL	10YR5/6	0,4	0,0	20,0	37,9	23,9	7,3	4,9	2,0	4,0	81,8	14,2	4,0

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügestufe	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK	SV [Vol.-%]	
0-2	Ah	W 3	4	kru/Bröckel	18,8	23,6	13,4	13,4	69,2	18,8	363,1	8,3	13,4	30,8	
2-35	Bv1	W 2	2	koh	15,4	20,1	9,3	16,6	61,4	15,4		110,4	16,6	38,6	
35-100	Bv2	W 1	2-3	koh	8,0	23,3	10,8	17,2	59,3	8,0		244,4	17,2	40,7	

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [µS/cm]	C _i [%]	N _i [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
0-2	Ah	4,90	5,49	5,13	182,0	10,0	0,8	13,2	17,2	0,0	123,2		283,4
2-35	Bv1	4,83	5,60	4,93	25,3	5,5	0,4	14,2	9,5	0,0	n.b.		n.b.
35-100	Bv2	5,40	5,98	5,33	20,9	5,6	0,3	17,2	9,6	0,0	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																	
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _c /kg Boden]										BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}	Na					K	Mg	
0-2	6,4	1,0	0,9	0,0	0,7	0,0	0,1	0,0	9,2	90,5	8,1	6,2	1,2	2885,2	17746,7	15992,7	
2-35	1,4	0,2	0,3	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	3,1	59,7	38,5	8,0	0,7	1640,8	19890,4	11890,5	
35-100	0,8	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	1,2	85,2	13,6	6,4	1,3	2157,8	10946,0	10048,0	

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-2	5845,2	14,6	1073,2	47886,6	0,0	76,5	0,0	119,7	81763,2	1359,8	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2-35	1851,2	27,8	220,7	52499,1	0,0	79,6	0,0	88,4	106099,2	820,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
35-100	2074,9	3,2	1081,7	48704,5	0,0	89,9	0,0	15,2	132977,9	893,7	0,0	0,0	0,0	0,0	32,8	

Tabelle 36: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 5, *milpa*, utz'uuch, vor ca. 60 Jahren gerodet

Profil LP 6
 Lage: 15°22,877' N / 90°10,834' W
 Höhe üNN/ Neigung: 2281 m / 23°
 Bodentyp: Oxid Humitropepts (FAO: Ferralic Cambisol)
 Vegetation/ Landnutzung: *milpa*, gerodet vor ca. 25 Jahren
 Geologische Situation: Kalkstein
 Hydrologie: Grundwasserfern
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: > wp 5

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-5	Ah	Ts4	10YR3/2	n.b.	0,9	2,9	4,6	6,1	9,3	17,5	10,2	49,2	13,7	37,0	49,2
5-20	AhBv	Ts2	10YR4/6	0,7	2,8	6,3	6,4	12,7	29,5	8,1	9,7	27,4	25,3	47,3	27,4
20-90	Bv1	Ts2	10YR6/8	0,8	1,8	10,7	8,4	8,2	12,7	14,5	10,2	35,4	27,3	37,3	35,4
90+	Bv2	Tu4	10YR7/8	1,3	1,2	4,6	4,2	2,8	10,6	25,7	11,9	40,3	11,6	48,1	40,3

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügestufe	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK [Vol.-%]	SV [Vol.-%]
0-5	Ah	W 4	2	kru	37,6	19,9	5,0	13,4	76,0	37,6	275,1	17,5	13,4	24,0
5-20	AhBv	W 3	2-3	koh	25,3	23,8	9,9	12,9	71,8	25,3		61,0	12,9	28,2
20-90	Bv1	W 1	3	koh	27,4	15,0	5,6	11,6	59,6	27,4		182,6	11,6	40,4
90+	Bv2	W 1	2-3	koh	30,9	11,3	2,7	6,4	51,3	30,9		14,0	6,4	48,7

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [µS/cm]	C _t [%]	N _t [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂							[mg/kg Boden]		
0-5	Ah	3,95	4,52	4,27	467,0	15,5	1,0	16,0	26,7	0,0	99,0		227,7
5-20	AhBv	4,23	4,75	4,38	83,8	8,4	0,4	19,2	14,4	0,0	n.b.		n.b.
20-90	Bv1	4,57	5,03	4,80	32,4	3,0	0,2	19,3	5,2	0,0	n.b.		n.b.
90+	Bv2	4,23	4,79	4,50	28,0	0,4	0,0	9,9	0,7	0,0	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _e /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
0-5	9,2	1,5	0,5	0,1	4,3	0,2	0,8	0,0	16,7	67,5	26,1	6,1	3,2	2119,7	8554,6	5920,7
5-20	1,6	0,3	0,1	0,1	6,7	0,1	0,0	0,3	9,2	21,8	73,2	5,7	2,4	2546,5	7317,5	6044,1
20-90	0,4	0,1	0,0	0,1	2,0	0,0	0,0	0,0	2,6	19,8	77,1	5,3	1,6	759,3	10373,1	5612,0
90+	0,6	0,2	0,1	0,1	1,4	0,1	0,1	0,0	2,4	36,7	58,4	3,4	2,3	402,4	18942,9	6970,3

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-5	4819,2	0,1	849,3	45496,6	0,0	0,0	0,0	114,2	56275,7	711,7	130,1	0,0	0,0	0,0	0,0	
5-20	3494,9	7,3	195,0	63220,7	0,0	34,8	0,0	107,5	68850,2	399,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
20-90	581,8	18,9	190,6	54744,4	0,0	24,3	0,0	311,0	98844,1	182,8	0,0	0,0	0,0	0,0	28,9	
90+	283,3	18,4	751,7	44549,0	0,0	82,3	0,0	703,5	94500,9	42,8	0,0	0,0	0,0	0,0	34,4	

Tabelle 37: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 6, *milpa*, gerodet vor 25 Jahren

Profil LP 7

Lage: 15°22,874' N / 90°10,533' W

Höhe üNN/ Neigung: 2279 m / 38°

Bodentyp: Oxyc Dystropepts (FAO: Dystric Cambisol)

Vegetation/ Landnutzung: Primärwald, Bergnebelwald, ohne Nutzung, nur kleine Pfade durchkreuzen den Wald

Geologische Situation: Kalkstein, tief verwittert, in ca. 100cm Tiefe erste Skelettanteile

Hydrologie: Grundwasserfern

Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: > wp 5

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-10	Ah	Ut4	10YR1.7/1	n.b.	0,0	11,3	9,2	5,2	3,7	3,8	13,3	53,4	25,8	20,8	53,4
10-20	AhBv	Ts2	10YR6/6	1,2	1,3	2,6	4,0	0,6	18,7	1,1	17,3	55,6	7,3	37,2	55,6
20-50	Bv1	Tu3	10YR5/6	0,9	0,7	1,5	2,4	3,5	12,1	0,0	11,8	68,8	7,3	23,9	68,8
50-100	Bv2	Ts2	10YR5/8	0,8	1,0	5,2	3,9	3,6	7,3	0,5	14,5	65,0	12,7	22,3	65,0
100+	Bv(Cv)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügeform	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK	SV [Vol.-%]
0-10	Ah	W 5-6	4	kru/Bröckel	40,1	18,3	4,9	13,4	76,8	40,1	189,7	33,2	13,4	23,2
10-20	AhBv	W 3	2	koh	40,9	8,5	1,9	3,9	55,1	40,9		11,4	3,9	44,9
20-50	Bv1	W 2	2-3	koh	49,4	5,6	1,2	2,0	58,3	49,4		52,0	2,0	41,7
50-100	Bv2	W 1	2-3	koh	46,9	8,7	4,4	6,7	66,7	46,9		93,1	6,7	33,3
100+	Bv(Cv)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		n.b.	n.b.	n.b.

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [µS/cm]	C _i [%]	N _i [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
0-10	Ah	3,22	3,84	3,53	n.b.	53,9	2,7	19,8	92,7	0,0	n.b.		n.b.
10-20	AhBv	3,00	3,98	3,67	52,8	1,0	0,1	12,3	1,7	0,0	n.b.		n.b.
20-50	Bv1	3,82	4,33	4,09	48,3	2,7	0,2	12,2	4,6	0,0	n.b.		n.b.
50-100	Bv2	4,33	4,87	4,51	36,6	2,8	0,2	12,0	4,8	0,0	n.b.		n.b.
100+	Bv(Cv)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _e /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
0-10	32,8	7,9	0,9	0,3	2,8	1,8	0,8	0,2	47,5	88,2	5,9	4,2	8,6	430,9	2246,6	1688,8
10-20	0,8	0,4	0,1	0,1	7,6	0,9	0,0	0,2	10,0	13,4	75,3	2,2	7,5	1064,0	19421,5	8481,9
20-50	0,9	0,4	0,1	0,1	7,5	0,2	0,0	0,3	9,5	15,1	79,0	2,6	3,8	957,5	22315,5	11231,6
50-100	0,6	0,2	0,1	0,0	3,7	0,1	0,1	0,0	4,8	19,4	76,7	3,0	2,5	763,4	23995,8	12265,1
100+	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-10	7573,9	0,0	142,3	5859,3	0,0	0,0	0,0	0,0	10140,6	688,3	2233,2	0,0	0,0	0,0	0,0	
10-20	886,5	30,0	12,6	41309,0	0,0	49,3	0,0	0,0	67930,5	87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
20-50	843,6	40,6	91,9	55211,2	0,0	37,1	0,0	35,3	97691,3	144,1	0,0	0,0	0,0	0,0	75,2	
50-100	628,6	37,5	1011,3	58649,6	0,0	76,7	0,0	61,0	109911,7	196,7	0,0	0,0	0,0	0,0	118,1	
100+	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

Tabelle 38: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 7, Primärer Bergnebelwald

Profil LP 8
 Lage: 15°23,041' N / 90°03,081' W
 Höhe üNN/ Neigung: 1937 m / 17°
 Bodentyp: Typic Eutropepts (FAO: Ferralic Cambisol)
 Vegetation/ Landnutzung: *milpa*, seit 100 bewirtschaftet
 Geologische Situation: kein Kalkstein
 Hydrologie: Grundwasserfern, ca. 50 m oberhalb des Flusses
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: > wp 5

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-30	Ah	Tu	10YR2/3	0,6	6,3	17,8	28,1	21,2	14,4	0,4	8,2	10,0	67,1	22,9	10,0
30-50	Bv1	Tl	10YR3/4	0,5	3,5	15,7	21,0	13,6	14,5	0,1	11,0	24,1	50,3	25,6	24,1
50-85	Bv2	Tl	10YR4/6	0,6	13,6	18,3	22,9	12,8	14,1	0,3	7,8	23,8	54,0	22,1	23,8
85+	BvCv														

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügestufe	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK [Vol.-%]	SV [Vol.-%]
0-30	Ah	W 4	n.b.	kru	16,1	25,9	12,6	14,3	69,0	16,1	290,0	127,5	14,3	31,0
30-50	Bv1	W 3	n.b.	koh	20,6	21,0	8,0	14,9	64,5	20,6		72,0	14,9	35,5
50-85	Bv2	W 1	n.b.	koh	19,3	15,8	6,1	15,2	56,4	19,3		90,5	15,2	43,6
85+	BvCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		n.b.	n.b.	n.b.

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [µS/cm]	C _t [%]	N _t [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
0-30	Ah	4,50	4,80	4,64	385,0	11,7	0,9	13,2	20,1	0,0	n.b.		n.b.
30-50	Bv1	5,01	5,34	5,04	119,0	6,3	0,5	13,4	10,8	0,0	n.b.		n.b.
50-85	Bv2	4,90	5,36	5,00	59,4	3,4	0,3	11,7	5,8	0,0	n.b.		n.b.
85+	BvCv	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _e /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
0-30	4,9	0,9	0,6	0,1	2,3	0,0	0,5	0,0	9,2	69,6	24,5	5,7	1,5	2100,2	8983,6	6421,7
30-50	1,3	0,2	0,1	0,2	0,5	0,0	0,1	0,0	2,4	72,2	21,7	7,7	1,6	2465,6	10222,7	6849,0
50-85	1,0	0,3	0,1	0,1	0,7	0,0	0,1	0,0	2,4	65,4	29,0	3,3	2,3	2518,1	7876,6	12581,1
85+	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-30	3847,8	11,6	6320,6	66518,2	0,0	77,5	0,0	145,7	85186,2	1812,3	209,6	0,0	0,0	0,0	159,0	
30-50	3168,7	10,7	8108,8	78507,7	0,0	121,0	0,0	100,2	99278,3	1814,9	201,6	0,0	0,0	0,0	158,5	
50-85	1450,0	37,5	4315,5	91623,5	0,0	48,6	0,0	118,9	105075,8	1419,9	54,0	0,0	0,0	0,0	143,0	
85+	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	

Tabelle 39: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 8, *milpa*, 100 Jahre bewirtschaftet

Profil LP 9
 Lage: 15°22,432' N / 90°04,266' W
 Höhe üNN/ Neigung: 2173 m / 20°
 Bodentyp: Oxic Humitropepts (FAO: Ferralic Cambisol)
 Vegetation/ Landnutzung: Kiefernauflistung, letzte *milpa* vor 6 Jahren, gerodet vor ca. 25 Jahren
 Geologische Situation:
 Hydrologie: Grundwasserfern
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit:

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-17	Ah	Ut4	10YR2/2	0,5	0,5	9,6	17,1	19,4	21,5	0,1	11,4	21,0	46,0	32,9	21,0
17-30	AhBv	Lu	10YR3/4	0,4	0,3	4,4	12,1	23,8	20,9	1,4	13,6	23,8	40,3	35,9	23,8
30-65	Bv1	Tu4	10YR5/6	0,5	0,5	16,9	28,2	17,8	14,1	0,4	1,5	21,2	62,9	16,0	21,2
65+	Bv2	Tu4	10YR4/6	0,5	1,3	26,6	34,7	19,4	7,9	0,1	2,6	8,7	80,7	10,6	8,7

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügestufe	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK [Vol.-%]	SV [Vol.-%]
0-17	Ah	W 3	2-3	koh	20,7	23,9	10,2	15,2	69,9	20,7	364,0	69,7	15,2	30,1
17-30	AhBv	W 3	2-3	koh	22,6	23,6	10,0	14,4	70,7	22,6		52,9	14,4	29,3
30-65	Bv1	W 3	2	koh	18,5	18,8	8,2	16,2	61,6	18,5		118,9	16,2	38,4
65+	Bv2	W 3	4	koh	11,0	21,4	9,7	18,4	60,4	11,0		122,5	18,4	39,6

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [µS/cm]	C _t [%]	N _t [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
0-17	Ah	4,38	4,98	4,61	574,0	18,9	1,1	17,3	32,5	0,0	n.b.		n.b.
17-30	AhBv	4,30	4,66	4,32	306,0	18,6	1,1	17,5	32,0	0,0	n.b.		n.b.
30-65	Bv1	4,80	5,23	4,73	60,3	5,6	0,3	20,0	9,6	0,0	n.b.		n.b.
65+	Bv2	4,89	5,31	4,85	53,0	5,6	0,3	22,5	9,6	0,0	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																	
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _e /kg Boden]										BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg	
0-17	8,4	2,6	1,1	0,1	2,9	0,1	0,4	0,1	15,7	77,9	18,6	3,2	2,3	2454,9	4440,6	7393,7	
17-30	2,0	0,5	0,3	0,2	6,5	0,1	0,1	0,3	10,0	30,7	64,9	4,0	1,8	2154,9	3350,7	4126,6	
30-65	0,4	0,0	0,1	0,1	1,3	0,0	0,0	0,0	2,0	31,5	64,8	12,0	0,7	1037,9	4075,5	4876,4	
65+	0,3	0,0	0,0	0,2	1,1	0,0	0,0	0,0	1,7	33,4	63,3	8,6	1,1	1051,4	3645,5	6823,3	

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-17	6214,4	3,5	1093,7	73136,6	0,0	196,0	0,0	52,3	85628,1	1410,0	553,1	0,0	0,0	0,0	135,9	
17-30	3737,9	0,0	353,5	80956,7	0,0	77,1	0,0	3,7	83453,8	1297,2	599,1	0,0	0,0	0,0	26,8	
30-65	2471,4	33,0	445,7	104585,6	0,0	184,6	0,0	35,6	115243,1	1004,4	0,0	0,0	0,0	0,0	145,0	
65+	2341,2	29,4	395,1	87935,7	0,0	64,0	0,0	54,9	120639,6	869,0	0,0	0,0	0,0	0,0	190,8	

Tabelle 40: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 9, Kiefernauflistung

Profil LP 10
 Lage: 15°22,432'N/90°04,266'W
 Höhe üNN/ Neigung: 2532 m/ 6°
 Bodentyp: Oxid Humitropepts (FAO: Ferralic Cambisol)
 Vegetation/ Landnutzung: Bergnebelwald, ohne Nutzung
 Geologische Situation:
 Hydrologie: grundwasserfern
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: wp 3 (Ortsstein in 50cm)

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-20	Ah1	n.d.	10YR1,7/1	n.d.	3,0	6,9	9,5	6,4	6,2	0,4	12,0	58,7	22,8	18,5	58,7
20-30	Ah2	Ts2	10YR3/3	0,6	1,3	24,2	37,1	31,8	4,1	0,0	1,3	1,4	93,1	5,5	1,4
30-55	Bv1	Ts2	10YR5/8	0,8	5,1	9,9	11,6	13,4	17,2	0,0	10,1	37,7	35,0	27,3	37,7
55-100	Bv2	Tu3	10YR7/2	0,5	0,5	2,7	7,7	7,9	225	3,3	11,1	44,9	18,2	36,9	44,9
100-130	Bv3	Ts2	10YR6/8	0,6	0,6	22,2	26,8	21,6	13,5	8,5	3,6	3,8	70,6	25,6	3,8

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügeform	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK	SV [Vol.-%]
0-20	Ah1	W6	AS3	krü	43,6	17,4	4,7	12,4	78,1	43,6	219,0	64,1	12,4	22,0
20-30	Ah2	W2	AS3	koh.	11,1	27,1	12,9	16,4	67,5	11,1		50,6	16,4	32,5
30-55	Bv1	W1	AS2-3	koh.	28,7	16,1	6,5	13,7	65,0	28,7		73,9	13,7	35,0
55-100	Bv2	W0	AS2-3	koh.	33,7	12,6	5,2	10,5	62,0	33,7		91,2	10,5	38,0
100-130	Bv3	W0	AS2	koh.	6,1	18,0	6,9	20,6	51,5	6,1		-	20,6	48,5

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [µS/cm]	C _i [%]	N _i [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
0-20	Ah1	2,61	3,85	2,95	365	55,1	2,1	26,5	94,8	0	n.b.		n.b.
20-30	Ah2	3,41	3,96	3,49	119	13,2	0,5	27,1	22,7	0	n.b.		n.b.
30-55	Bv1	4,41	4,95	4,43	28,9	4,8	0,2	30,8	8,3	0	n.b.		n.b.
55-100	Bv2	5,45	5,25	5,43	25,6	1,6	0,1	24,5	2,8	0	n.b.		n.b.
100-130	Bv3	5,63	5,53	5,4	18,1	1,2	0,1	24,1	2,1	0	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _e /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
0-20	2,3	4,2	0,6	0,4	5,0	5,7	0,0	1,2	19,4	38,4	25,8	0,5	7,2	539,7	1043,6	979,7
20-30	0,2	0,2	0,1	0,1	8,3	0,7	0,0	0,9	10,4	4,7	79,8	1,3	3,3	2409,8	3031,9	2282,2
30-55	0,1	0,0	0,0	0,0	2,8	0,0	0,0	0,2	3,2	6,7	85,9	3,3	1,1	1804,3	3204,2	2907,4
55-100	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	68,0	32,0	5,6	0,8	6697,2	7227,1	4058,8
100-130	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,3	29,7	70,3	n.b.	0,0	4715,6	5539,9	1996,0

Bodenchemische Parameter																	
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]																
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb		
0-20	963,2	0,0	0,0	6720,9	0,0	0,0	0,0	0,0	12958,3	525,2	1492,2	0,0	0,0	0,0	0,0		
20-30	2388,8	3,0	0,0	14454,6	0,0	0,0	0,0	0,0	60334,0	370,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
30-55	1592,6	15,1	81,3	69224,0	0,0	19,8	0,0	0,0	99569,0	373,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
55-100	4308,8	0,0	163,3	13240,0	0,0	101,6	0,0	0,0	137030,9	463,1	1352,6	0,0	0,0	0,0	0,0		
100-130	2078,8	0,0	181,6	32826,3	0,0	148,7	0,0	0,0	127293,4	161,7	1028,9	0,0	0,0	0,0	50,9		

Tabelle 41: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP10 Primärer Bergnebelwald, ohne Nutzung

Profil LP 11
 Lage: 15°22,614' N / 90°05,506' W
 Höhe üNN/ Neigung: 1960 m / 23°
 Bodentyp: Oxid Dystropepts (FAO: Dystric Cambisol)
 Vegetation / Landnutzung: Sekundärwald, 50 % Arrayan-Bestand, 10 Jahre alt, Arrayan 8 bis 10 Jahre, Reserva Privada Chelemhá
 Geologische Situation:
 Hydrologie: Grundwasserfern
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: Wp 5

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-10		Tu3	10YR2/1	n.b.	0,1	2,9	4,2	7,1	6,1	15,2	13,3	51,2	14,2	34,6	51,2
10-20		Ts3	10YR6/3	0,8	0,9	3,4	3,8	6,2	8,9	6,3	26,5	44,9	13,3	41,7	44,9
20-60		Ts2	10YR6/8	1,2	0,9	3,9	4,5	4,7	5,8	10,6	12,6	57,9	13,1	29,0	57,9
60-130		Ts2	10YR7/8	1,2	0,2	1,7	2,5	2,8	5,2	13,7	12,8	61,4	7,0	31,6	61,4

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügestufe	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK [Vol.-%]	SV [Vol.-%]
0-10		W 5	4	krü/koh	38,9	19,5	5,0	13,2	76,5	38,9	142,6	34,5	13,2	23,5
10-20		W 3	2	koh	33,8	15,9	6,2	11,2	67,1	33,8		32,1	11,2	32,9
20-60		W 1	1-2	koh	42,3	7,3	1,9	4,1	55,5	42,3		40,7	4,1	44,5
60-130		W 1	1-2	koh	44,7	7,3	1,6	3,0	56,5	44,7		35,4	3,0	43,5

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf	C _t	N _t	C/N	Humus	CaCO ₃	P		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂	[μS/cm]	[%]	[%]		[%]	[%]	[mg/kg Boden]		
0-10		3,58	4,51	3,89	250,0	20,5	1,3	16,4	35,3	0,0	n.b.		n.b.
10-20		3,63	4,29	3,89	98,9	5,6	0,5	11,5	9,6	0,0	n.b.		n.b.
20-60		3,33	4,65	3,91	32,4	0,7	0,1	5,8	1,2	0,0	n.b.		n.b.
60-130		3,58	4,87	4,50	28,2	0,5	0,1	5,6	0,9	0,0	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _c /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
0-10	11,6	2,0	0,7	0,1	3,7	0,8	0,4	1,2	20,5	70,2	18,0	5,7	3,0	1153,9	15885,7	6765,5
10-20	2,2	0,3	0,1	0,1	6,1	0,4	0,0	0,7	10,1	27,5	60,6	6,5	2,3	1670,2	20576,1	8469,0
20-60	1,3	0,3	0,1	0,0	5,5	0,7	0,0	0,2	8,0	20,9	68,2	4,1	3,7	646,2	30520,6	11424,5
60-130	1,3	0,5	0,1	0,1	2,8	0,5	0,0	0,1	5,3	36,3	53,3	2,8	4,4	604,4	35182,5	14026,1

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-10	3811,1	11,7	82,1	20437,6	0,0	28,1	0,0	0,0	47336,5	611,0	215,9	0,0	0,0	0,0	0,0	
10-20	2488,6	34,8	0,0	23950,5	0,0	96,5	0,0	0,0	62387,1	412,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
20-60	543,4	62,2	0,0	42179,8	0,0	80,9	0,0	0,0	81715,5	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
60-130	509,4	80,9	7,4	61239,4	0,0	174,1	0,0	37,3	97533,9	22,5	0,0	0,0	0,0	0,0	177,9	

Tabelle 42: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 11, Sekundärwald, 10 Jahre

Profil LP 12
 Lage: 15°23,165' N / 90°03,688' W
 Höhe üNN/ Neigung: 2042 m / 34°
 Bodentyp: Oxie Humitropepts (FAO: Ferralic Cambisol)
 Vegetation/ Landnutzung: Junger Sekundärwald, 7 Jahre
 Geologische Situation:
 Hydrologie: Grundwasserfern
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: Wp 5

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-17	Ah	Ts2	10YR1.7/1	0,4	11,4	12,6	10,7	9,3	8,9	12,6	10,4	35,6	32,5	31,9	35,6
17-50	Bv1	Ts2	10YR4/4	0,5	19,4	27,3	27,5	21,1	9,9	5,9	3,1	5,2	75,9	18,9	5,2
50-120	Bv2	Ts3	10YR4/6	0,4	28,1	28,0	31,7	22,4	8,3	4,3	1,9	3,3	82,2	14,5	3,3

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügeform	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK [Vol.-%]	SV [Vol.-%]
0-17	Ah	W 5	1-2	koh	28,4	21,7	5,6	16,9	72,5	28,4	412,8	63,3	16,9	27,5
17-50	Bv1	W 3	4	koh	12,9	26,4	12,8	15,7	67,7	12,9		140,8	15,7	32,3
50-120	Bv2	W 2	4	koh	10,5	25,4	12,9	15,4	64,1	10,5		208,7	15,4	35,9

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [μS/cm]	C _t [%]	N _t [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
0-17	Ah	4,28	4,97	4,55	285,0	15,0	0,9	17,3	25,8	0,0	n.b.		n.b.
17-50	Bv1	4,48	4,86	4,52	120,0	8,8	0,5	18,7	15,1	0,0	n.b.		n.b.
50-120	Bv2	4,84	5,22	4,78	55,4	7,6	0,4	18,1	13,1	0,0	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _c /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
0-17	7,1	3,1	0,4	0,1	4,0	0,1	0,2	0,2	15,2	70,4	26,3	2,3	8,4	3589,0	7236,4	10883,0
17-50	0,9	0,3	0,1	0,1	3,3	0,0	0,1	0,0	4,8	28,5	69,1	3,3	1,9	4118,5	6646,9	13364,1
50-120	0,6	0,1	0,1	0,1	1,1	0,0	0,0	0,0	2,1	47,6	50,5	4,7	1,5	4947,6	7287,0	11323,8

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-17	8264,4	21,9	828,0	72630,9	0,0	84,6	0,0	63,1	77346,5	1299,6	0,0	0,0	0,0	0,0	61,1	
17-50	8491,2	26,8	1215,2	78387,9	0,0	51,0	0,0	99,3	86264,8	1131,0	0,0	0,0	0,0	0,0	130,7	
50-120	8475,5	27,5	1320,8	83216,7	0,0	86,4	0,0	78,8	99021,4	1215,0	0,0	0,0	0,0	0,0	131,8	

Tabelle 43: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 12, junger Sekundärwald

Profil LP 13
 Lage: 15°20,962' N / 90°17,436' W
 Höhe üNN/ Neigung: 1741 m / 7°
 Bodentyp: Typic Eutropepts (FAO: Eutric Cambisol)
 Vegetation/ Landnutzung: *milpa*
 Geologische Situation:
 Hydrologie: Grundwasserfern
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: bis mindestens 45 cm

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-6	Ah		10YR3/3	0,7	1,1	12,6	14,1	15,1	11,1	13,6	13,9	19,6	41,8	38,6	19,6
6-39	Bv1		10YR4/6	1,0	7,1	17,0	10,0	6,7	7,2	8,1	14,1	36,8	33,8	29,4	36,8
39-46	Bv2		10YR5/6	1,2	7,7	11,3	6,2	2,9	5,9	16,9	15,5	41,3	20,4	38,2	41,3
46-90	Bv3		10YR7/2	1,8	24,7	14,3	1,9	0,5	63,4	0,4	13,1	6,4	16,7	76,9	6,4

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügestufe	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK [Vol.-%]	SV [Vol.-%]
0-6	Ah	W 3	3	koh	19,9	24,4	10,2	15,2	69,7	19,9	101,1	25,0	15,2	30,3
6-39	Bv1	W 2	2-3	koh	28,2	13,3	5,5	12,8	59,8	28,2		67,1	12,8	40,2
39-46	Bv2	W 1	2-3	koh	31,4	10,0	2,9	7,1	51,3	31,4		9,0	7,1	48,7
46-90	Bv3	W 0	5	koh	14,8	25,8	10,1	0,7	51,5	14,8		173,7	0,7	48,5

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [µS/cm]	C _t [%]	N _t [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
0-6	Ah	5,01	5,88	5,23	74,3	10,5	0,8	13,6	18,1	0,0		n.b.	n.b.
6-39	Bv1	5,89	6,25	5,86	42,2	1,7	0,2	9,2	2,9	0,0		n.b.	n.b.
39-46	Bv2	6,94	7,32	6,83	66,7	0,5	0,1	6,5	0,9	0,0		n.b.	n.b.
46-90	Bv3	7,92	8,02	7,28	70,2	12,6	0,0	1943,1	21,7	> 10		n.b.	n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _e /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
0-6	7,9	2,0	0,7	0,0	0,4	0,0	0,1	0,0	11,2	95,5	3,4	3,9	2,9	2007,9	16147,3	9663,2
6-39	3,5	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	4,5	98,2	0,0	4,7	5,0	818,3	29319,3	14555,3
39-46	6,8	4,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,3	99,9	0,0	1,5	47,0	706,0	38618,2	14573,6
46-90	11,7	12,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	23,8	99,9	0,0	1,0	1156,6	253,0	5065,6	110404,9

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-6	5225,7	19,4	3088,0	53342,8	0,0	104,6	0,0	406,6	92004,3	1282,0	338,6	0,0	0,0	0,0	0,0	
6-39	1899,7	28,0	6948,6	62366,9	0,0	128,9	0,0	618,3	86452,4	632,7	0,0	0,0	0,0	0,0	263,5	
39-46	1974,5	56,0	5426,9	54990,7	0,0	158,6	0,0	627,5	87527,9	227,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,3	
46-90	187149,1	0,0	163,0	4672,3	0,0	314,4	0,0	0,0	10299,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tabelle 44: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 13, *milpa*

Profil LP 14
 Lage: 15°21,334' N / 90°17,915' W, Xucaneb
 Höhe üNN/ Neigung: 1646 m / 15°
 Bodentyp: Typic Eutropepts (FAO: Eutric Cambisol)
 Vegetation/ Landnutzung: *milpa*
 Geologische Situation: Kalkstein
 Hydrologie: Grundwasserfern
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: > Wp 4

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
0-20	Ah	Ts3	10YR3/3	0,8	0,8	6,3	11,2	15,0	12,9	0,7	13,9	40,0	32,5	27,5	40,0
20-50	Bv1	Ts2	10YR5/8	0,8	1,7	5,6	8,8	7,1	9,1	0,9	13,0	55,3	21,6	23,1	55,3
50+	Bv2	Ts2	10YR5/8	0,9	1,5	9,6	44,5	20,6	2,5	3,5	4,4	14,9	74,7	10,4	14,9

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügeform	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK [Vol.-%]	SV
0-20	Ah	W 3	3	koh	31,3	16,7	5,4	15,2	68,6	31,3	222,3	58,3	15,2	31,4
20-50	Bv1	W 2	3	koh	40,4	10,2	4,8	8,9	64,3	40,4		52,5	8,9	35,7
50+	Bv2	W 1	3	koh	13,2	15,4	6,4	19,0	53,9	13,2		111,6	19,0	46,1

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [μS/cm]	C _t [%]	N _t [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
0-20	Ah	6,64	6,94	6,8	87,2	5,8	0,5	10,9	10,0	< 0,5	n.b.		n.b.
20-50	Bv1	6,16	6,66	6,33	86,6	2,2	0,2	10,1	3,8	0,0	n.b.		n.b.
50+	Bv2	6,24	7,21	6,69	58,8	0,9	0,1	9,7	1,5	0,0	n.b.		n.b.

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _c /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
0-20	15,7	5,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,2	99,9	0,0	3,0	17,0	1243,2	21238,4	25245,5
20-50	5,7	2,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	8,1	99,2	0,1	2,8	8,2	748,5	19251,1	21944,3
50+	4,1	1,7	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	99,1	0,2	2,3	10,6	798,1	16509,6	16822,9

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
0-20	7516,3	22,2	7596,2	69160,1	0,0	270,4	0,0	1286,5	97464,0	1213,6	77,4	0,0	0,0	0,0	701,9	
20-50	2212,3	27,4	7374,0	69927,2	0,0	81,6	0,0	897,0	118664,5	775,7	0,0	0,0	0,0	0,0	620,2	
50+	1622,2	7,8	8422,7	73976,6	0,0	160,4	0,0	851,1	146132,0	646,4	0,0	0,0	0,0	0,0	743,6	

Tabelle 45: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 14, *milpa*

Profil LP 15
 Lage: 15°21,663' N / 90°19,271' W
 Höhe üNN/ Neigung: 1523 m / 0°
 Bodentyp: Typic Eutropepts (FAO: Eutric Cambisol)
 Vegetation/ Landnutzung: *milpa*
 Geologische Situation: Alluvialsedimente, evtl. noch Kalksteineinfluss
 Hydrologie: Grundwassernah, in ca. 110 cm Tiefe Grundwasser
 Durchwurzelbarkeit/ Physiologische Gründigkeit: > 110 cm

Bodenphysikalische Parameter															
Tiefe [cm]	Horizont	Bodenart	Farbe feucht	Ld [g/cm ³]	Skelett	gS	mS	fS	gU [Gew.-%]	mU	fU	T	Sand	Schluff [Gew.-%]	Ton
Sandauflage 3					1,0	4,3	11,1	8,2	7,3	1,7	7,7	59,6	23,6	16,8	59,6
0-36	Bv1	Sl4	10YR4/3	1,0	0,1	0,8	8,7	34,2	23,0	0,1	12,7	20,4	43,7	35,8	20,4
36-70	Bv2	Ts4	10YR4/6	1,1	0,2	3,4	22,0	32,9	10,3	0,5	5,5	25,4	58,3	16,3	25,4
70-110	Bv3	Ls4	10YR5/4	1,1	0,9	9,6	25,3	29,0	7,7	0,5	6,2	21,6	63,9	14,4	21,6

Bodenphysikalische Parameter														
Tiefe [cm]	Horizont	DWI FW/dm ²	AgSt	Gefügestufe	FP	MP	eGP [Vol.-%]	wGP	GPV	PWP	nFKWe [mm]	nFK	LK [Vol.-%]	SV [Vol.-%]
Sandauflage 3					43,2	11,2	4,6	8,3	67,2	43,2	243,4	-	8,3	32,8
0-36	Bv1	W 4	2-3	koh	17,3	19,1	7,2	15,2	17,3	17,3		109,1	15,2	41,2
36-70	Bv2	W 2	5	koh	20,3	14,2	6,0	16,2	20,3	20,3		70,4	16,2	43,3
70-110	Bv3	W 1	5	koh	17,7	14,7	6,1	17,2	17,7	17,7		63,9	17,2	44,3

Bodenchemische Parameter													
Tiefe [cm]	Horizont	pH			Lf. [µS/cm]	C _t [%]	N _t [%]	C/N	Humus [%]	CaCO ₃ [%]	P [mg/kg Boden]		P ₂ O ₅
		KCl	H ₂ O	CaCl ₂									
Sandauflage 3		6,98	7,66	7,34	121,0	4,0	0,1	38,2	6,9		n.b.	n.b.	
0-36	Bv1	7,08	7,49	7,32	123,0	4,3	0,3	14,3	7,4	2	n.b.	n.b.	
36-70	Bv2	6,82	7,49	7,20	66,2	1,0	0,1	9,4	1,7	< 1	n.b.	n.b.	
70-110	Bv3	6,87	7,48	7,12	59,1	1,1	0,1	8,8	1,9	< 1	n.b.	n.b.	

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Austauschbare Nährstoffe [cmol _e /kg Boden]									BS [%]	Al-Sätt.	Ca/Mg	Mg/K	Totalgehalte [mg/kg Boden]		
	Ca	Mg	K	Na	Al	H	Mn	Fe	AK _{eff}					Na	K	Mg
Sand 3	26,0	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	27,6	99,9	0,0	19,4	9,3	1096,2	22018,4	31191,7
0-36	18,5	5,8	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	24,5	99,9	0,0	3,2	79,3	1682,1	23437,9	24072,0
36-70	6,5	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	99,9	0,0	4,6	22,2	1899,4	24762,0	12565,5
70-110	7,5	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,2	99,9	0,0	2,8	72,2	2071,9	25757,5	16142,9

Bodenchemische Parameter																
Tiefe [cm]	Totalgehalte [mg/kg Boden]															
	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb	
Sand 3	49716,2	5,3	386,7	22265,6	0,0	172,5	0,0	23,4	47386,5	115,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
0-36	23757,4	17,1	905,9	29754,0	0,0	123,3	0,0	96,8	57059,7	495,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
36-70	3564,1	14,8	1214,2	32367,3	0,0	129,7	0,0	165,6	66349,2	305,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
70-110	6099,6	17,9	847,7	34036,8	0,0	52,4	0,0	139,3	67659,1	373,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	

Tabelle 46: Profilbeschreibung und wichtige bodenphysikalische und -chemische Parameter LP 15, *milpa*. Xucaneb

Lfd.-Nr.	Landnutzung	Tiefe	Region	Rohdichte [g/cm ³]	eff. Ld. [g/cm ³]	Feuchte [%]
5796	Primärwald	0-10	Chicacnab	n.d.	n.d.	n.d.
5797	Primärwald	10-19	Chicacnab	0,8	1,1	45,4
5798	Primärwald	19-40	Chicacnab	1,1	1,5	33,4
5799	Primärwald	40-100	Chicacnab	1,2	1,5	31,3
5800	Guamil	0-5	Chicacnab	1,0	1,3	34,3
5801	Guamil	5-48	Chicacnab	0,9	1,2	33,1
5802	Guamil	48-52	Chicacnab	n.d.	n.d.	n.d.
5803	Guamil	52-65	Chicacnab	0,9	1,4	38,5
5804	Guamil	65-120	Chicacnab	1,2	1,6	29,7
5805	milpa 15	0-12	Chicacnab	0,4	0,9	57,9
5806	milpa 15	12-55	Chicacnab	1,2	1,7	29,8
5807	milpa 15	55-100	Chicacnab	1,4	1,8	24,6
5808	descanso	0-9	Chicacnab	0,8	1,2	n.d.
5809	descanso	9-60	Chicacnab	1,1	1,6	n.d.
5810	descanso	60-120	Chicacnab	1,1	1,5	n.d.
5811	milpa 60	0-2	Chicacnab	n.d.	n.d.	n.d.
5812	milpa 60	2-35	Chicacnab	0,7	0,8	48,5
5813	milpa 60	35-100	Chicacnab	0,4	0,5	63,0
5814	milpa 25	0-5	Chicacnab	n.d.	n.d.	n.d.
5815	milpa 25	5-20	Chicacnab	0,7	0,9	47,2
5816	milpa 25	20-90	Chicacnab	0,8	1,1	44,3
5817	milpa 25	90-	Chicacnab	1,3	1,7	26,7
5818	Primärwald	0-10	Chicacnab	n.d.	n.d.	n.d.
5819	Primärwald	10-20	Chicacnab	1,2	1,7	28,2
5820	Primärwald	20-50	Chicacnab	0,9	1,5	39,9
5821	Primärwald	50-100	Chicacnab	0,8	1,4	43,7
5822	milpa 100	0-30	Chelemhá	0,6	0,7	51,3
5823	milpa 100	30-50	Chelemhá	0,5	0,7	57,5
5824	milpa 100	50-85	Chelemhá	0,6	0,8	52,6
5825	Kiefernauflistung	0-17	Chelemhá	0,5	0,7	55,6
5826	Kiefernauflistung	17-30	Chelemhá	0,4	0,6	61,7
5827	Kiefernauflistung	30-65	Chelemhá	0,5	0,7	57,1
5828	Kiefernauflistung	65-	Chelemhá	0,5	0,6	57,7
5829	Primärwald	0-20	Chelemhá	n.d.	n.d.	n.d.
5830	Primärwald	20-30	Chelemhá	0,6	0,6	55,5
5831	Primärwald	30-55	Chelemhá	0,8	1,2	42,5
5832	Primärwald	55-100	Chelemhá	0,5	0,9	55,8
5833	Primärwald	100-130	Chelemhá	0,6	0,6	55,8
5834	Sekundär 10	0-10	Chelemhá	n.d.	n.d.	n.d.
5835	Sekundär 10	10-20	Chelemhá	0,8	1,2	43,4
5836	Sekundär 10	20-60	Chelemhá	1,2	1,7	33,2
5837	Sekundär 10	60-130	Chelemhá	1,2	1,7	33,0
5838	Sekundär 7	0-17	Chelemhá	0,4	0,8	n.d.
5839	Sekundär 7	17-50	Chelemhá	0,5	0,5	n.d.
5840	Sekundär 7	50-120	Chelemhá	0,4	0,4	n.d.
5841	milpa	0-6	Mestelá	0,7	0,9	42,5
5842	milpa	6-39	Mestelá	1,0	1,3	35,8
5843	milpa	39-46	Mestelá	1,2	1,6	27,0
5844	milpa	46-90	Mestelá	1,8	1,9	12,3
5845	milpa	0-20	Mestelá	0,8	1,2	39,1
5846	milpa	20-50	Mestelá	0,8	1,3	39,3
5847	milpa	50-	Mestelá	0,9	1,0	38,6
5848	milpa	Sandauflage	Mestelá	n.d.	n.d.	n.d.
5849	milpa	0-36	Mestelá	1,0	1,2	n.d.
5850	milpa	36-70	Mestelá	1,1	1,3	n.d.
5851	milpa	70-110	Mestelá	1,1	1,3	n.d.

Tabelle 47: Lagerungsdichte und Feuchtegehalt der Leitprofilhorizonte

Lfd.-Nr.	Landnutzung	Tiefe	Region	Skelett	Grob-Sand	Mittel-Sand	Fein-Sand	Grob-Schluff	Mittel-Schluff	Fein-Schluff	Ton	Schluff	Sand
5796	Primärwald	0-10	Chicacnab	0,0	3,2	14,4	11,4	6,7	10,9	10,2	43,3	27,7	29,0
5797	Primärwald	10-19	Chicacnab	1,9	2,7	7,6	13,3	13,0	12,6	9,7	41,1	35,3	23,6
5798	Primärwald	19-40	Chicacnab	2,7	2,8	5,8	10,1	8,3	14,3	11,4	47,3	34,0	18,8
5799	Primärwald	40-100	Chicacnab	0,7	1,6	4,6	8,1	11,2	16,3	14,5	43,6	42,0	14,3
5800	Guamil	0-5	Chicacnab	4,6	9,3	15,2	14,1	9,8	6,7	9,4	35,4	25,9	38,6
5801	Guamil	5-48	Chicacnab	3,6	5,7	13,6	12,7	7,4	10,2	9,7	40,6	27,4	32,0
5802	Guamil	48-52	Chicacnab	0,7	4,2	7,8	12,6	11,5	10,0	9,3	44,5	30,8	24,7
5803	Guamil	52-65	Chicacnab	2,1	5,1	8,5	14,4	13,6	0,4	7,6	50,4	21,6	28,0
5804	Guamil	65-120	Chicacnab	2,6	7,8	12,8	15,3	11,8	7,8	8,4	36,2	28,0	35,9
5805	milpa 15	0-12	Chicacnab	0,0	1,4	3,9	6,3	11,3	13,9	11,7	51,4	36,9	11,6
5806	milpa 15	12-55	Chicacnab	0,1	1,1	1,4	12,8	13,5	14,3	8,7	48,1	36,6	15,4
5807	milpa 15	55-100	Chicacnab	14,7	4,7	2,7	1,7	10,0	22,8	15,3	42,7	48,1	9,2
5808	descanso	0-9	Chicacnab	1,8	5,6	5,1	5,5	8,4	12,2	12,1	51,0	32,7	16,3
5809	descanso	9-60	Chicacnab	0,8	3,8	3,8	4,5	9,7	3,4	12,5	62,2	25,6	12,1
5810	descanso	60-120	Chicacnab	2,4	6,5	6,3	5,0	11,2	17,9	16,5	36,6	45,6	17,9
5811	milpa 60	0-2	Chicacnab	1,0	25,3	26,7	16,5	5,9	3,7	6,2	15,7	15,8	68,5
5812	milpa 60	2-35	Chicacnab	0,6	31,8	29,2	12,6	6,1	0,6	3,0	16,7	9,7	73,6
5813	milpa 60	35-100	Chicacnab	0,0	20,0	37,9	23,9	7,3	4,9	2,0	4,0	14,2	81,8
5814	milpa 25	0-5	Chicacnab	0,9	2,9	4,6	6,1	9,3	17,5	10,2	49,2	37,0	13,7
5815	milpa 25	5-20	Chicacnab	2,8	6,3	6,4	12,7	29,5	8,1	9,7	27,4	47,3	25,3
5816	milpa 25	20-90	Chicacnab	1,8	10,7	8,4	8,2	12,7	14,5	10,2	35,4	37,3	27,3
5817	milpa 25	90-	Chicacnab	1,2	4,6	4,2	2,8	10,6	25,7	11,9	40,3	48,1	11,6
5818	Primärwald	0-10	Chicacnab	0,0	11,3	9,2	5,2	3,7	3,8	13,3	53,4	20,8	25,8
5819	Primärwald	10-20	Chicacnab	1,3	2,6	4,0	0,6	18,7	1,1	17,3	55,6	37,2	7,3
5820	Primärwald	20-50	Chicacnab	0,7	1,5	2,4	3,5	12,1	0,0	11,8	68,8	23,9	7,3
5821	Primärwald	50-100	Chicacnab	1,0	5,2	3,9	3,6	7,3	0,5	14,5	65,0	22,3	12,7
5822	milpa 100	0-30	Chelemhá	6,3	17,8	28,1	21,2	14,4	0,4	8,2	10,0	22,9	67,1
5823	milpa 100	30-50	Chelemhá	3,5	15,7	21,0	13,6	14,5	0,1	11,0	24,1	25,6	50,3
5824	milpa 100	50-85	Chelemhá	13,6	18,3	22,9	12,8	14,1	0,3	7,8	23,8	22,1	54,0
5825	Kiefernauflistung	0-17	Chelemhá	0,5	9,6	17,1	19,4	21,5	0,1	11,4	21,0	32,9	46,0
5826	Kiefernauflistung	17-30	Chelemhá	0,3	4,4	12,1	23,8	20,9	1,4	13,6	23,8	35,9	40,3
5827	Kiefernauflistung	30-65	Chelemhá	0,5	16,9	28,2	17,8	14,1	0,4	1,5	21,2	16,0	62,9
5828	Kiefernauflistung	65-	Chelemhá	1,3	26,6	34,7	19,4	7,9	0,1	2,6	8,7	10,6	80,7
5829	Primärwald	0-20	Chelemhá	3,0	6,9	9,5	6,4	6,2	0,4	12,0	58,7	18,5	22,8
5830	Primärwald	20-30	Chelemhá	1,3	24,2	37,1	31,8	4,1	0,0	1,3	1,4	5,5	93,1
5831	Primärwald	30-55	Chelemhá	5,1	9,9	11,6	13,4	17,2	0,0	10,1	37,7	27,3	35,0
5832	Primärwald	55-100	Chelemhá	0,5	2,7	7,7	7,9	22,5	3,3	11,1	44,9	36,9	18,2
5833	Primärwald	100-130	Chelemhá	0,6	22,2	26,8	21,6	13,5	8,5	3,6	3,8	25,6	70,6
5834	Sekundär 10	0-10	Chelemhá	0,1	2,9	4,2	7,1	6,1	15,2	13,3	51,2	34,6	14,2
5835	Sekundär 10	10-20	Chelemhá	0,9	3,4	3,8	6,2	8,9	6,3	26,5	44,9	41,7	13,3
5836	Sekundär 10	20-60	Chelemhá	0,9	3,9	4,5	4,7	5,8	10,6	12,6	57,9	29,0	13,1
5837	Sekundär 10	60-130	Chelemhá	0,2	1,7	2,5	2,8	5,2	13,7	12,8	61,4	31,6	7,0
5838	Sekundär 7	0-17	Chelemhá	11,4	12,6	10,7	9,3	8,9	12,6	10,4	35,6	31,9	32,5
5839	Sekundär 7	17-50	Chelemhá	19,4	27,3	27,5	21,1	9,9	5,9	3,1	5,2	18,9	75,9
5840	Sekundär 7	50-120	Chelemhá	28,1	28,0	31,7	22,4	8,3	4,3	1,9	3,3	14,5	82,2
5841	milpa	0-6	Mestelá	1,1	12,6	14,1	15,1	11,1	13,6	13,9	19,6	38,6	41,8
5842	milpa	6-39	Mestelá	7,1	17,0	10,0	6,7	7,2	8,1	14,1	36,8	29,4	33,8
5843	milpa	39-46	Mestelá	7,7	11,3	6,2	2,9	5,9	16,9	15,5	41,3	38,2	20,4
5844	milpa	46-90	Mestelá	24,7	14,3	1,9	0,5	63,4	0,4	13,1	6,4	76,9	16,7
5845	milpa	0-20	Mestelá	0,8	6,3	11,2	15,0	12,9	0,7	13,9	40,0	27,5	32,5
5846	milpa	20-50	Mestelá	1,7	5,6	8,8	7,1	9,1	0,9	13,0	55,3	23,1	21,6
5847	milpa	50-	Mestelá	1,5	9,6	44,5	20,6	2,5	3,5	4,4	14,9	10,4	74,7
5848	milpa	Sandauflage	Mestelá	1,0	4,3	11,1	8,2	7,3	1,7	7,7	59,6	16,8	23,6
5849	milpa	0-36	Mestelá	0,1	0,8	8,7	34,2	23,0	0,1	12,7	20,4	35,8	43,7
5850	milpa	36-70	Mestelá	0,2	3,4	22,0	32,9	10,3	0,5	5,5	25,4	16,3	58,3
5851	milpa	70-110	Mestelá	0,9	9,6	25,3	29,0	7,7	0,5	6,2	21,6	14,4	63,9
5852	Primärwald	0-30	Chicacnab	2,7	5,3	16,1	13,1	10,5	0,9	17,0	37,2	28,4	34,5
5853	Primärwald	30-60	Chicacnab	0,9	1,9	6,3	10,6	17,6	0,1	12,7	50,8	30,3	18,9
5854	Guamil	0-30	Chicacnab	3,9	9,0	12,4	14,4	11,1	0,0	11,6	41,4	22,7	35,9
5855	Guamil	30-60	Chicacnab	1,9	8,6	10,5	12,5	9,9	0,4	9,3	48,7	19,7	31,6

Tabelle 48: Korngrößenverteilung der Proben 5796-5855 [Angaben in %]

Lfd.-Nr.	Landnutzung	Tiefe	Region	Skelett	Grob-Sand	Mittel-Sand	Fein-Sand	Grob-Schluff	Mittel-Schluff	Fein-Schluff	Ton	Schluff	Sand
5856	milpa 15	0-30	Chicacnab	0,5	1,7	3,1	5,1	17,4	0,8	14,1	57,8	32,3	9,9
5857	milpa 15	30-60	Chicacnab	2,2	3,4	4,0	5,1	12,5	0,1	9,4	65,5	22,1	12,5
5858	descanso	0-30	Chicacnab	2,3	3,4	4,1	5,2	14,4	3,1	12,2	57,6	29,7	12,7
5859	descanso	30-60	Chicacnab	4,3	4,3	4,4	4,8	11,2	0,2	13,8	61,1	25,3	13,6
5860	milpa 60	0-30	Chicacnab	0,4	24,4	15,1	10,6	12,6	0,0	8,9	28,3	21,6	50,1
5861	milpa 60	30-60	Chicacnab	0,4	22,4	14,5	11,7	10,9	0,2	6,9	33,3	18,0	48,6
5862	milpa 25	0-30	Chicacnab	4,1	5,3	4,9	6,5	15,8	0,6	13,6	53,2	30,1	16,7
5863	milpa 25	30-60	Chicacnab	1,2	14,3	21,0	8,3	13,9	7,9	1,9	32,6	23,7	43,7
5864	Primärwald	0-30	Chicacnab	2,4	5,0	4,9	4,9	11,9	1,1	15,4	56,8	28,4	14,9
5865	Primärwald	30-60	Chicacnab	2,0	4,0	4,5	4,3	12,1	12,0	3,0	60,1	27,1	12,8
5866	milpa 100	0-30	Chelemhá	4,7	15,4	13,3	7,8	14,8	5,2	5,0	38,6	25,0	36,4
5867	milpa 100	30-60	Chelemhá	4,6	10,6	11,7	7,9	14,6	6,9	3,4	44,9	24,8	30,2
5868	Kiefernauaufforstung	0-30	Chelemhá	2,4	18,0	22,2	11,7	15,7	1,6	8,1	22,7	25,4	51,9
5869	Kiefernauaufforstung	30-60	Chelemhá	2,5	25,4	28,4	12,9	9,3	0,0	7,1	16,8	16,4	66,8
5870	Kiefernauaufforstung	0-30	Chelemhá	2,8	20,0	20,9	5,4	15,7	0,6	12,0	25,4	28,2	46,3
5871	Kiefernauaufforstung	30-60	Chelemhá	2,3	29,6	30,8	29,5	3,8	0,0	2,1	4,3	5,9	89,8
5872	Primärwald	0-30	Chelemhá	2,0	4,3	5,8	6,5	14,8	0,3	13,9	54,4	28,9	16,7
5873	Primärwald	30-60	Chelemhá	2,9	11,2	11,1	9,9	16,7	0,1	11,0	40,0	27,7	32,3
5874	Sekundär 10	0-30	Chelemhá	1,1	4,1	4,8	5,2	8,4	2,2	13,8	61,5	24,4	14,1
5875	Sekundär 10	30-60	Chelemhá	2,1	3,3	3,5	4,1	7,0	1,5	10,2	70,3	18,7	11,0
5876	Sekundär 7	0-30	Chelemhá	8,5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
5877	Sekundär 7	30-60	Chelemhá	5,0	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
5878	milpa 10	0-30	Mestelá	2,5	9,6	10,9	9,7	7,0	0,4	11,2	51,3	18,5	30,1
5879	milpa 10	30-60	Mestelá	4,7	9,6	10,5	8,9	9,0	2,1	9,1	50,9	20,1	29,0
5880	Primärwald	0-30	Mestelá	3,1	9,0	12,9	10,0	13,6	0,0	16,0	38,5	29,6	31,9
5881	Primärwald	30-60	Mestelá	7,1	10,9	7,6	8,2	24,2	0,4	15,8	32,8	40,5	26,7
5882	Weide	0-30	Mestelá	0,2	21,1	31,3	29,8	10,7	0,5	5,0	1,6	16,2	82,2
5883	Weide	30-60	Mestelá	0,5	23,9	29,2	21,6	9,6	0,0	5,4	10,3	15,0	74,7
5884	milpa	0-30	Mestelá	0,9	14,7	18,6	14,7	15,9	0,9	10,1	25,0	26,9	48,0
5885	milpa	30-60	Mestelá	0,8	22,2	22,5	12,8	6,1	5,5	6,4	24,6	17,9	57,5
5886	milpa	0-30	Mestelá	0,9	3,7	6,1	10,0	13,6	0,3	11,7	54,5	25,6	19,9
5887	milpa	30-60	Mestelá	0,3	2,9	5,0	9,4	12,6	0,1	13,0	57,1	25,7	17,3
5888	Sekundärwald	0-30	Mestelá	6,9	4,3	5,5	7,7	12,7	1,3	13,1	55,4	27,2	17,5
5889	Sekundärwald	30-60	Mestelá	0,0	2,3	5,2	8,6	14,9	0,4	14,8	53,7	30,2	16,2
5890	milpa	0-30	Mestelá	1,5	5,2	11,2	16,4	15,3	1,5	12,3	38,2	29,0	32,8
5891	milpa	30-60	Mestelá	0,2	5,2	8,4	10,3	11,2	0,4	13,8	50,7	25,4	23,9
5892	milpa 15	0-30	Mestelá	0,2	2,5	4,9	17,7	18,7	0,5	11,5	44,0	30,8	25,2
5893	milpa 15	30-60	Mestelá	20,6	7,3	2,0	47,4	29,5	3,7	1,2	8,9	34,5	56,7
5894	milpa	0-30	Mestelá	0,4	7,3	13,0	18,8	13,0	14,9	12,7	20,3	40,5	39,2
5895	milpa	30-60	Mestelá	0,4	6,0	12,7	20,2	16,2	14,6	12,6	17,8	43,3	38,9
5896	milpa	0-30	Mestelá	4,5	8,5	12,2	10,3	10,5	10,9	10,9	36,7	32,3	31,0
5897	milpa	30-60	Mestelá	4,0	5,5	9,7	10,6	10,8	9,6	8,4	45,3	28,9	25,8
5898	milpa >100 Brand	0-30	Chelemhá	5,5	4,4	6,9	7,2	11,5	16,0	10,5	43,6	38,0	18,4
5899	milpa >100 Brand	30-60	Chelemhá	3,0	3,1	4,8	5,9	10,5	14,4	9,2	52,0	34,2	13,9
5900	milpa >100 ohne Brand	0-30	Chelemhá	2,7	12,9	15,5	14,7	9,1	13,6	11,2	23,0	33,9	43,0
5901	milpa >100 ohne Brand	30-60	Chelemhá	3,3	10,6	16,9	14,0	11,1	12,6	11,1	23,7	34,8	41,5
5902	Primärwald	0-30	Chelemhá	1,3	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
5903	Primärwald	0-30	Chelemhá	0,1	3,6	3,1	3,7	12,8	27,7	7,8	41,3	48,2	10,4
5904	Primärwald	0-30	Chelemhá	0,0	18,6	15,0	8,8	1,2	7,2	8,5	40,6	17,0	42,4
5905	Primärwald	0-30	Chelemhá	0,4	2,4	4,9	9,7	14,9	14,2	8,3	45,6	37,4	17,0
5906	Primärwald	0-30	Chelemhá	0,0	0,8	1,2	2,2	16,0	16,1	9,5	54,2	41,5	4,3
5907	Primärwald	30-60	Chelemhá	0,0	12,2	15,5	9,1	12,0	16,1	12,0	23,2	40,1	36,8
5908	Primärwald	30-60	Chelemhá	0,2	3,0	8,5	10,3	16,8	19,7	16,1	25,7	52,6	21,7
5909	Primärwald	30-60	Chelemhá	4,0	13,3	18,6	16,7	11,0	9,7	6,7	23,9	27,5	48,6
5910	Primärwald	30-60	Chelemhá	1,1	14,6	26,9	25,7	11,6	7,7	3,2	10,3	22,5	67,2
5911	Primärwald	30-60	Chelemhá	1,3	1,3	2,5	5,8	13,2	15,9	14,7	46,6	43,8	9,6

Tabelle 49: Korngrößenverteilung der Proben 5856-5911 [Angaben in %]

Lfd.-Nr.	Landnutzung	Tiefe	Region	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	pH KCl	Lf [µS/cm]	C [%]	N [%]	C/N
5796	Primärwald	0-10	Chicacnab	4,45	4,20	3,95	792,0	35,2	1,8	19,2
5797	Primärwald	10-19	Chicacnab	4,55	4,26	4,07	299,0	8,2	0,6	13,0
5798	Primärwald	19-40	Chicacnab	5,03	4,41	4,31	36,9	2,3	0,2	9,9
5799	Primärwald	40-100	Chicacnab	4,91	4,24	4,12	31,0	0,6	0,1	5,8
5800	Guamil	0-5	Chicacnab	5,78	5,38	5,22	269,0	6,3	0,5	12,1
5801	Guamil	5-48	Chicacnab	5,50	5,31	4,89	61,0	2,0	0,2	9,5
5802	Guamil	48-52	Chicacnab	6,13	5,81	5,56	95,1	8,0	0,6	13,9
5803	Guamil	52-65	Chicacnab	6,12	5,81	5,50	76,5	4,0	0,4	11,3
5804	Guamil	65-120	Chicacnab	5,67	5,49	5,07	37,0	0,8	0,1	7,7
5805	milpa 15	0-12	Chicacnab	4,50	4,30	4,07	1189,0	25,7	1,5	17,7
5806	milpa 15	12-55	Chicacnab	4,27	3,83	3,39	41,0	0,5	0,1	7,0
5807	milpa 15	55-100	Chicacnab	4,48	3,95	3,79	29,5	0,3	0,1	4,6
5808	descanso	0-9	Chicacnab	4,52	4,14	3,98	183,0	7,1	0,5	14,2
5809	descanso	9-60	Chicacnab	4,63	4,16	4,01	34,4	1,2	0,1	10,8
5810	descanso	60-120	Chicacnab	4,77	4,29	4,01	29,2	0,3	0,1	5,0
5811	milpa 60	0-2	Chicacnab	5,49	5,13	4,90	182,0	10,0	0,8	13,2
5812	milpa 60	2-35	Chicacnab	5,60	4,93	4,83	25,3	5,5	0,4	14,2
5813	milpa 60	35-100	Chicacnab	5,98	5,33	5,40	20,9	5,6	0,3	17,2
5814	milpa 25	0-5	Chicacnab	4,52	4,27	3,95	467,0	15,5	1,0	16,0
5815	milpa 25	5-20	Chicacnab	4,75	4,38	4,23	83,8	8,4	0,4	19,2
5816	milpa 25	20-90	Chicacnab	5,03	4,80	4,57	32,4	3,0	0,2	19,3
5817	milpa 25	90-	Chicacnab	4,79	4,50	4,23	28,0	0,4	0,0	9,9
5818	Primärwald	0-10	Chicacnab	3,84	3,53	3,22	-	53,9	2,7	19,8
5819	Primärwald	10-20	Chicacnab	3,98	3,67	3,00	52,8	1,0	0,1	12,3
5820	Primärwald	20-50	Chicacnab	4,33	4,09	3,82	48,3	2,7	0,2	12,2
5821	Primärwald	50-100	Chicacnab	4,87	4,51	4,33	36,6	2,8	0,2	12,0
5822	milpa 100	0-30	Chelemhá	4,80	4,64	4,50	385,0	11,7	0,9	13,2
5823	milpa 100	30-50	Chelemhá	5,34	5,04	5,01	119,0	6,3	0,5	13,4
5824	milpa 100	50-85	Chelemhá	5,36	5,00	4,90	59,4	3,4	0,3	11,7
5825	Kiefernauflistung	0-17	Chelemhá	4,98	4,61	4,38	574,0	18,9	1,1	17,3
5826	Kiefernauflistung	17-30	Chelemhá	4,66	4,32	4,30	306,0	18,6	1,1	17,5
5827	Kiefernauflistung	30-65	Chelemhá	5,23	4,73	4,80	60,3	5,6	0,3	20,0
5828	Kiefernauflistung	65-	Chelemhá	5,31	4,85	4,89	53,0	5,6	0,3	22,5
5829	Primärwald	0-20	Chelemhá	3,85	2,95	2,61	395,0	55,1	2,1	26,5
5830	Primärwald	20-30	Chelemhá	3,96	3,49	3,41	119,0	13,2	0,5	27,1
5831	Primärwald	30-55	Chelemhá	4,95	4,43	4,41	28,9	4,8	0,2	30,8
5832	Primärwald	55-100	Chelemhá	5,25	5,43	5,45	25,6	1,6	0,1	24,5
5833	Primärwald	100-130	Chelemhá	5,53	5,40	5,63	18,1	1,2	0,1	24,1
5834	Sekundär 10	0-10	Chelemhá	4,51	3,89	3,58	250,0	20,5	1,3	16,4
5835	Sekundär 10	10-20	Chelemhá	4,29	3,89	3,63	98,9	5,6	0,5	11,5
5836	Sekundär 10	20-60	Chelemhá	4,65	3,91	3,33	32,4	0,7	0,1	5,8
5837	Sekundär 10	60-130	Chelemhá	4,87	4,50	3,58	28,2	0,5	0,1	5,6
5838	Sekundär 7	0-17	Chelemhá	4,97	4,55	4,28	285,0	15,0	0,9	17,3
5839	Sekundär 7	17-50	Chelemhá	4,86	4,52	4,48	120,0	8,8	0,5	18,7
5840	Sekundär 7	50-120	Chelemhá	5,22	4,78	4,84	55,4	7,6	0,4	18,1
5841	milpa	0-6	Mestelá	5,88	5,23	5,01	74,3	10,5	0,8	13,6
5842	milpa	6-39	Mestelá	6,25	5,86	5,89	42,2	1,7	0,2	9,2
5843	milpa	39-46	Mestelá	7,32	6,83	6,94	66,7	0,5	0,1	6,5
5844	milpa	46-90	Mestelá	8,02	7,28	7,92	70,2	12,6	0,0	n.b.
5845	milpa	0-20	Mestelá	6,94	6,80	6,64	87,2	5,8	0,5	10,9
5846	milpa	20-50	Mestelá	6,66	6,33	6,16	86,6	2,2	0,2	10,1
5847	milpa	50-	Mestelá	7,21	6,69	6,24	58,8	0,9	0,1	9,7
5848	milpa	Sandaufflage	Mestelá	7,66	7,34	6,98	121,0	4,0	0,1	38,2
5849	milpa	0-36	Mestelá	7,49	7,32	7,08	123,0	4,3	0,3	14,3
5850	milpa	36-70	Mestelá	7,49	7,20	6,82	66,2	1,0	0,1	9,4
5851	milpa	70-110	Mestelá	7,48	7,12	6,87	59,1	1,1	0,1	8,8
5852	Primärwald	0-30	Chicacnab	5,14	4,64	4,32	107,0	6,4	0,5	13,5
5853	Primärwald	30-60	Chicacnab	4,96	4,37	4,26	32,1	1,2	0,1	9,1
5854	Guamil	0-30	Chicacnab	7,24	6,93	6,85	166,0	3,8	0,3	14,2
5855	Guamil	30-60	Chicacnab	6,06	5,78	5,37	60,6	2,1	0,2	10,5
5856	milpa 15	0-30	Chicacnab	4,64	4,25	3,78	63,6	4,5	0,3	14,4
5857	milpa 15	30-60	Chicacnab	4,81	4,11	3,72	42,6	1,2	0,1	12,5
5858	descanso	0-30	Chicacnab	4,78	4,24	4,05	63,9	5,2	0,3	15,7
5859	descanso	30-60	Chicacnab	4,91	4,28	4,14	32,7	1,8	0,1	16,4
5860	milpa 60	0-30	Chicacnab	5,39	4,84	4,73	81,8	7,6	0,7	11,0
5861	milpa 60	30-60	Chicacnab	5,56	5,06	4,99	39,9	4,4	0,4	12,1

Tabelle 50: pH-Werte und Leitfähigkeit der Proben 5796-5861

Lfd.-Nr.	Landnutzung	Tiefe	Region	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	pH KCl	Lf [µS/cm]	C [%]	N [%]	C/N
5862	milpa 25	0-30	Chicacnab	4,93	4,46	4,25	111,0	10,5	0,6	16,5
5863	milpa 25	30-60	Chicacnab	5,10	4,75	4,71	55,0	4,7	0,2	19,8
5864	Primärwald	0-30	Chicacnab	4,85	4,22	3,81	66,0	5,7	0,4	13,3
5865	Primärwald	30-60	Chicacnab	5,10	4,46	4,07	45,8	1,4	0,1	11,7
5866	milpa 100	0-30	Chelemhá	4,96	4,66	4,57	210,0	7,5	0,7	11,3
5867	milpa 100	30-60	Chelemhá	5,25	4,87	4,78	81,3	3,3	0,3	12,4
5868	Kiefernauflistung	0-30	Chelemhá	5,15	4,78	4,57	350,0	14,7	1,0	15,3
5869	Kiefernauflistung	30-60	Chelemhá	4,95	4,51	4,51	147,0	9,6	0,6	16,4
5870	Kiefernauflistung	0-30	Chelemhá	5,12	4,79	4,56	341,0	14,7	0,9	15,7
5871	Kiefernauflistung	30-60	Chelemhá	5,17	4,65	4,62	119,0	9,9	0,7	15,1
5872	Primärwald	0-30	Chelemhá	4,24	3,40	3,36	162,0	18,0	0,8	22,2
5873	Primärwald	30-60	Chelemhá	5,54	4,10	4,12	69,0	5,9	0,2	24,0
5874	Sekundär 10	0-30	Chelemhá	4,44	3,82	3,46	51,0	2,9	0,3	9,8
5875	Sekundär 10	30-60	Chelemhá	4,80	3,90	3,47	32,3	0,7	0,1	6,3
5876	Sekundär 7	0-30	Chelemhá	5,20	4,59	4,39	232,0	19,1	1,1	16,7
5877	Sekundär 7	30-60	Chelemhá	5,24	4,61	4,53	114,0	12,6	0,7	18,3
5878	milpa 10	0-30	Mestelá	5,83	5,33	5,18	72,0	4,7	0,5	8,6
5879	milpa 10	30-60	Mestelá	5,91	5,41	5,20	68,0	2,8	0,3	9,6
5880	Primärwald	0-30	Mestelá	3,57	3,07	2,93	186,0	35,7	1,4	24,6
5881	Primärwald	30-60	Mestelá	4,73	4,47	4,39	35,6	5,0	0,2	24,1
5882	Weide	0-30	Mestelá	5,33	4,74	4,67	75,0	18,8	1,2	15,8
5883	Weide	30-60	Mestelá	5,61	5,22	5,28	30,0	8,2	0,5	15,6
5884	milpa	0-30	Mestelá	5,32	4,90	4,73	71,7	10,4	0,8	13,7
5885	milpa	30-60	Mestelá	5,51	5,29	5,34	48,2	5,0	0,4	13,8
5886	milpa	0-30	Mestelá	5,94	5,56	5,23	63,2	3,9	0,4	10,7
5887	milpa	30-60	Mestelá	5,74	5,29	4,84	30,4	1,5	0,1	12,6
5888	Sekundär	0-30	Mestelá	6,11	5,65	5,37	78,2	7,6	0,5	16,6
5889	Sekundär	30-60	Mestelá	6,12	5,68	5,26	53,9	3,4	0,3	13,4
5890	milpa	0-30	Mestelá	6,65	6,32	6,26	96,0	7,6	0,4	17,7
5891	milpa	30-60	Mestelá	5,94	5,37	5,11	50,6	5,7	0,4	13,6
5892	milpa 15	0-30	Mestelá	7,35	4,06	7,11	99,1	8,0	0,2	36,0
5893	milpa 15	30-60	Mestelá	7,72	7,50	7,84	73,4	9,2	0,0	n.b.
5894	milpa	0-30	Mestelá	6,10	5,45	5,22	72,5	10,2	0,7	15,6
5895	milpa	30-60	Mestelá	6,05	5,24	5,10	33,7	6,2	0,3	18,3
5896	milpa	0-30	Mestelá	6,40	5,93	5,68	84,7	6,3	0,3	19,0
5897	milpa	30-60	Mestelá	5,56	4,99	4,54	44,0	1,2	0,1	16,4
5898	milpa >100 Brand	0-30	Chelemhá	5,14	4,51	4,37	107,0	12,8	0,5	24,0
5899	milpa >100 Brand	30-60	Chelemhá	4,98	4,38	4,37	57,7	5,0	0,2	23,9
5900	milpa >100 ohne Brand	0-30	Chelemhá	5,44	4,88	4,76	102,0	9,0	0,5	17,2
5901	milpa >100 ohne Brand	30-60	Chelemhá	5,48	4,96	4,85	56,1	6,1	0,4	16,3
5902	Primärwald	0-30	Chelemhá	3,71	2,89	2,68	175,0	22,3	0,8	26,6
5903	Primärwald	0-30	Chelemhá	3,73	3,10	2,92	144,0	13,3	0,6	23,1
5904	Primärwald	0-30	Chelemhá	4,30	3,05	2,72	156,0	65,2	2,0	32,4
5905	Primärwald	0-30	Chelemhá	4,27	3,66	3,56	190,0	23,7	0,8	28,5
5906	Primärwald	0-30	Chelemhá	4,29	3,07	2,73	112,0	63,8	1,5	43,9
5907	Primärwald	30-60	Chelemhá	4,48	3,91	3,86	39,8	1,9	0,1	20,6
5908	Primärwald	30-60	Chelemhá	4,58	4,02	3,92	31,5	1,2	0,1	18,8
5909	Primärwald	30-60	Chelemhá	5,02	4,65	4,75	30,6	7,8	0,3	29,9
5910	Primärwald	30-60	Chelemhá	5,22	5,12	5,40	22,7	4,2	0,1	32,2
5911	Primärwald	30-60	Chelemhá	4,29	3,67	3,58	88,5	13,8	0,5	27,2
	Mittelwert		Chelemhá	4,84	4,30	4,16	138,55	12,75	0,59	19,78
			Chicacnab	5,05	4,63	4,39	132,02	6,79	0,44	12,94
			Mestelá	6,32	5,79	5,74	71,66	6,64	0,37	15,39
	Standardabweichung		Chelemhá	0,49	0,66	0,77	123,19	14,63	0,48	7,79
			Chicacnab	0,67	0,68	0,73	225,70	10,21	0,52	3,98
			Mestelá	0,99	1,06	1,11	31,50	6,76	0,33	7,41
	Minimalwert		Chelemhá	3,71	2,89	2,61	18,10	0,49	0,05	5,62
			Chicacnab	3,84	3,53	3,00	20,90	0,29	0,04	4,63
			Mestelá	3,57	3,07	2,93	30,00	0,46	0,01	6,47
	Maximalwert		Chelemhá	5,54	5,43	5,63	574,00	65,16	2,08	43,88
			Chicacnab	7,24	6,93	6,85	1189,00	53,86	2,72	19,85
			Mestelá	8,02	7,50	7,92	186,00	35,72	1,45	38,21
	Gesamt		Mittelwert	5,31	4,81	4,66	118,30	9,06	0,48	16,27
			Standardabweichung	0,94	1,00	1,08	154,65	11,74	0,47	7,19
			Minimalwert	3,57	2,89	2,61	18,10	0,29	0,01	4,63
			Maximalwert	8,02	7,50	7,92	1189,00	65,16	2,72	43,88

Tabelle 51: pH-Werte und Leitfähigkeit der Proben 5862-5911

Lfd.-Nr.	Landnutzung	Tiefe	Region	Mg ²⁺ [mmol/100g]	Al ³⁺ [mmol/100g]	Na ⁺ [mmol/100g]	K ⁺ [mmol/100g]	Ca ²⁺ [mmol/100g]	Mn [mmol/100g]	Fe ³⁺ [mmol/100g]	H ₂ O ⁺ [mmol/100g]	KAK _{eff} [mmol/100g]	BS [%]	Al-Sättigung [%]	Mg-Sättigung	Na-Sättigung	K-Sättigung	Ca-Sättigung	Ca/Mg	K/Mg	Mg/K
5796	Primärwald	0-10	Chicacnab	7,3	0,5	0,3	1,8	25,5	3,5	0,0	0,3	39,3	88,9	1,3	0,2	0,0	0,0	0,6	3,5	0,3	4,0
5797	Primärwald	10-19	Chicacnab	0,8	3,6	0,1	0,4	3,5	0,7	0,0	0,1	9,2	51,5	39,1	0,1	0,0	0,0	0,4	4,4	0,5	2,1
5798	Primärwald	19-40	Chicacnab	0,2	2,6	0,0	0,2	0,7	0,1	0,0	0,0	3,8	27,9	67,9	0,0	0,0	0,0	0,2	4,1	0,9	1,1
5799	Primärwald	40-100	Chicacnab	0,4	5,2	0,0	0,1	1,2	0,2	0,0	0,1	7,2	23,6	73,1	0,1	0,0	0,0	0,2	3,2	0,2	4,5
5800	Guamil	0-5	Chicacnab	2,7	0,0	0,0	0,8	10,9	0,2	0,0	0,0	14,6	98,6	0,2	0,2	0,0	0,1	0,7	4,0	0,3	3,6
5801	Guamil	5-48	Chicacnab	1,1	0,2	0,0	0,1	4,5	0,1	0,0	0,0	6,0	95,3	3,6	0,2	0,0	0,0	0,7	4,1	0,1	7,5
5802	Guamil	48-52	Chicacnab	3,6	0,0	0,0	0,1	17,0	0,1	0,0	0,0	20,8	99,7	0,0	0,2	0,0	0,0	0,8	4,7	0,0	26,8
5803	Guamil	52-65	Chicacnab	1,9	0,0	0,0	0,1	8,6	0,0	0,0	0,0	10,6	99,5	0,1	0,2	0,0	0,0	0,8	4,6	0,1	19,8
5804	Guamil	65-120	Chicacnab	1,0	0,1	0,0	0,1	3,0	0,0	0,0	0,0	4,2	96,9	2,8	0,2	0,0	0,0	0,7	2,9	0,1	16,3
5805	milpa 15	0-12	Chicacnab	4,9	0,9	0,2	0,6	26,9	3,1	0,1	0,2	36,9	88,4	2,5	0,1	0,0	0,0	0,7	5,5	0,1	8,1
5806	milpa 15	12-55	Chicacnab	0,2	8,4	0,0	0,1	0,5	0,0	0,0	0,6	9,9	8,2	85,6	0,0	0,0	0,0	0,0	2,9	0,7	1,4
5807	milpa 15	55-100	Chicacnab	0,1	3,5	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,2	4,1	8,5	85,0	0,0	0,0	0,0	0,1	3,1	0,8	1,3
5808	descanso	0-9	Chicacnab	0,6	3,6	0,0	0,6	2,4	0,1	0,1	0,2	7,7	46,9	47,4	0,1	0,0	0,1	0,3	3,9	1,0	1,1
5809	descanso	9-60	Chicacnab	0,1	3,5	0,0	0,1	0,3	0,1	0,0	0,1	4,3	12,7	82,1	0,0	0,0	0,0	0,1	2,8	1,3	0,8
5810	descanso	60-120	Chicacnab	0,1	1,9	0,0	0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	2,6	18,1	71,7	0,0	0,0	0,1	0,1	3,6	2,1	0,5
5811	milpa 60	0-2	Chicacnab	1,0	0,7	0,0	0,9	6,4	0,1	0,0	0,0	9,2	90,5	8,1	0,1	0,0	0,1	0,7	6,2	0,9	1,2
5812	milpa 60	2-35	Chicacnab	0,2	1,2	0,0	0,3	1,4	0,0	0,0	0,0	3,1	59,7	38,5	0,1	0,0	0,1	0,4	8,0	1,5	0,7
5813	milpa 60	35-100	Chicacnab	0,1	0,2	0,0	0,1	0,8	0,0	0,0	0,0	1,2	85,2	13,6	0,1	0,0	0,1	0,7	6,4	0,8	1,3
5814	milpa 25	0-5	Chicacnab	1,5	4,3	0,1	0,5	9,2	0,8	0,0	0,2	16,7	67,5	26,1	0,1	0,0	0,0	0,6	6,1	0,3	3,2
5815	milpa 25	5-20	Chicacnab	0,3	6,7	0,1	0,1	1,6	0,0	0,3	0,1	9,2	21,8	73,2	0,0	0,0	0,0	0,2	5,7	0,4	2,4
5816	milpa 25	20-90	Chicacnab	0,1	2,0	0,1	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	2,6	19,8	77,1	0,0	0,0	0,0	0,1	5,3	0,6	1,6
5817	milpa 25	90-	Chicacnab	0,2	1,4	0,1	0,1	0,6	0,1	0,0	0,1	2,4	36,7	58,4	0,1	0,0	0,0	0,2	3,4	0,4	2,3
5818	Primärwald	0-10	Chicacnab	7,9	2,8	0,3	0,9	32,8	0,8	0,2	1,8	47,5	88,2	5,9	0,2	0,0	0,0	0,7	4,2	0,1	8,6
5819	Primärwald	10-20	Chicacnab	0,4	7,6	0,1	0,1	0,8	0,0	0,2	0,9	10,0	13,4	75,3	0,0	0,0	0,0	0,1	2,2	0,1	7,5
5820	Primärwald	20-50	Chicacnab	0,4	7,5	0,1	0,1	0,9	0,0	0,3	0,2	9,5	15,1	79,0	0,0	0,0	0,0	0,1	2,6	0,3	3,8
5821	Primärwald	50-100	Chicacnab	0,2	3,7	0,0	0,1	0,6	0,1	0,0	0,1	4,8	19,4	76,7	0,0	0,0	0,0	0,1	3,0	0,4	2,5
5822	milpa 100	0-30	Chelemhá	0,9	2,3	0,1	0,6	4,9	0,5	0,0	0,0	9,2	69,6	24,5	0,1	0,0	0,1	0,5	5,7	0,7	1,5
5823	milpa 100	30-50	Chelemhá	0,2	0,5	0,2	0,1	1,3	0,1	0,0	0,0	2,4	72,2	21,7	0,1	0,1	0,0	0,5	7,7	0,6	1,6
5824	milpa 100	50-85	Chelemhá	0,3	0,7	0,1	0,1	1,0	0,1	0,0	0,0	2,4	65,4	29,0	0,1	0,0	0,1	0,4	3,3	0,4	2,3
5825	Kiefernauforstung	0-17	Chelemhá	2,6	2,9	0,1	1,1	8,4	0,4	0,1	0,1	15,7	77,9	18,6	0,2	0,0	0,1	0,5	3,2	0,4	2,3
5826	Kiefernauforstung	17-30	Chelemhá	0,5	6,5	0,2	0,3	2,0	0,1	0,3	0,1	10,0	30,7	64,9	0,1	0,0	0,0	0,2	4,0	0,6	1,8
5827	Kiefernauforstung	30-65	Chelemhá	0,0	1,3	0,1	0,1	0,4	0,0	0,0	0,0	2,0	31,5	64,8	0,0	0,1	0,0	0,2	12,0	1,5	0,7
5828	Kiefernauforstung	65-	Chelemhá	0,0	1,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	1,7	33,4	63,3	0,0	0,1	0,0	0,2	8,6	0,9	1,1
5829	Primärwald	0-20	Chelemhá	4,2	5,0	0,4	0,6	2,3	0,0	1,2	5,7	19,4	38,4	25,8	0,2	0,0	0,0	0,1	0,5	0,1	7,2
5830	Primärwald	20-30	Chelemhá	0,2	8,3	0,1	0,1	0,2	0,0	0,9	0,7	10,4	4,7	79,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,3	0,3	3,3
5831	Primärwald	30-55	Chelemhá	0,0	2,8	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	3,2	6,7	85,9	0,0	0,0	0,0	0,0	3,3	0,9	1,1
5832	Primärwald	55-100	Chelemhá	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,2	68,0	32,0	0,1	0,1	0,1	0,4	5,6	1,2	0,8
5833	Primärwald	100-130	Chelemhá	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	29,7	70,3	0,0	0,1	0,0	0,2	n.b.	n.b.	0,0
5834	Sekundär 10	0-10	Chelemhá	2,0	3,7	0,1	0,7	11,6	0,4	1,2	0,8	20,5	70,2	18,0	0,1	0,0	0,0	0,6	5,7	0,3	3,0
5835	Sekundär 10	10-20	Chelemhá	0,3	6,1	0,1	0,1	2,2	0,0	0,7	0,4	10,1	27,5	60,6	0,0	0,0	0,0	0,2	6,5	0,4	2,3
5836	Sekundär 10	20-60	Chelemhá	0,3	5,5	0,0	0,1	1,3	0,0	0,2	0,7	8,0	20,9	68,2	0,0	0,0	0,0	0,2	4,1	0,3	3,7
5837	Sekundär 10	60-130	Chelemhá	0,5	2,8	0,1	0,1	1,3	0,0	0,1	0,5	5,3	36,3	53,3	0,1	0,0	0,0	0,2	2,8	0,2	4,4
5838	Sekundär 7	0-17	Chelemhá	3,1	4,0	0,1	0,4	7,1	0,2	0,2	0,1	15,2	70,4	26,3	0,2	0,0	0,0	0,5	2,3	0,1	8,4
5839	Sekundär 7	17-50	Chelemhá	0,3	3,3	0,1	0,1	0,9	0,1	0,0	0,0	4,8	28,5	69,1	0,1	0,0	0,0	0,2	3,3	0,5	1,9
5840	Sekundär 7	50-120	Chelemhá	0,1	1,1	0,1	0,1	0,6	0,0	0,0	0,0	2,1	47,6	50,5	0,1	0,1	0,0	0,3	4,7	0,7	1,5

Tabelle 52: Effektive Kationenaustauschkapazitäten der Proben 5796-5840

Lfd.-Nr.	Landnutzung	Tiefe	Region	Mg ²⁺ [mmol/100g]	Al ³⁺ [mmol/100g]	Na ⁺ [mmol/100g]	K ⁺ [mmol/100g]	Ca ²⁺ [mmol/100g]	Mn [mmol/100g]	Fe ³⁺ [mmol/100g]	H ₂ O ⁺ [mmol/100g]	KAK _{eff.} [mmol/100g]	BS [%]	Al-Sättigung [%]	Mg-Sättigung	Na-Sättigung	K-Sättigung	Ca-Sättigung	Ca/Mg	K/Mg	Mg/K
5841	milpa	0-6	Mestelá	2,0	0,4	0,0	0,7	7,9	0,1	0,0	0,0	11,2	95,5	3,4	0,2	0,0	0,1	0,7	3,9	0,3	2,9
5842	milpa	6-39	Mestelá	0,7	0,0	0,0	0,1	3,5	0,1	0,0	0,0	4,5	98,2	0,0	0,2	0,0	0,0	0,8	4,7	0,2	5,0
5843	milpa	39-46	Mestelá	4,4	0,0	0,0	0,1	6,8	0,0	0,0	0,0	11,3	99,9	0,0	0,4	0,0	0,0	0,6	1,5	0,0	47,0
5844	milpa	46-90	Mestelá	12,1	0,0	0,0	0,0	11,7	0,0	0,0	0,0	23,8	99,9	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	1,0	0,0	1156,6
5845	milpa	0-20	Mestelá	5,1	0,0	0,0	0,3	15,7	0,0	0,0	0,0	21,2	99,9	0,0	0,2	0,0	0,0	0,7	3,0	0,1	17,0
5846	milpa	20-50	Mestelá	2,0	0,0	0,0	0,3	5,7	0,1	0,0	0,0	8,1	99,2	0,1	0,3	0,0	0,0	0,7	2,8	0,1	8,2
5847	milpa	50-	Mestelá	1,7	0,0	0,0	0,2	4,1	0,0	0,0	0,0	6,0	99,1	0,2	0,3	0,0	0,0	0,7	2,3	0,1	10,6
5848	milpa	Sandauflage	Mestelá	1,3	0,0	0,0	0,1	26,0	0,0	0,0	0,0	27,6	99,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	19,4	0,1	9,3
5849	milpa	0-36	Mestelá	5,8	0,0	0,0	0,1	18,5	0,0	0,0	0,0	24,5	99,9	0,0	0,2	0,0	0,0	0,8	3,2	0,0	79,3
5850	milpa	36-70	Mestelá	1,4	0,0	0,0	0,1	6,5	0,0	0,0	0,0	8,0	99,9	0,0	0,2	0,0	0,0	0,8	4,6	0,0	22,2
5851	milpa	70-110	Mestelá	2,7	0,0	0,0	0,0	7,5	0,0	0,0	0,0	10,2	99,9	0,0	0,3	0,0	0,0	0,7	2,8	0,0	72,2
5852	Primärwald	0-30	Chicacnab	1,0	0,1	0,0	0,3	12,8	0,4	0,0	0,0	14,5	96,9	0,5	0,1	0,0	0,0	0,9	12,7	0,3	3,3
5853	Primärwald	30-60	Chicacnab	0,4	3,4	0,0	0,1	1,6	0,2	0,0	0,1	5,8	36,7	59,3	0,1	0,0	0,0	0,3	4,3	0,2	4,4
5854	Guamil	0-30	Chicacnab	5,8	0,0	0,0	0,4	15,5	0,0	0,0	0,0	21,7	99,9	0,0	0,3	0,0	0,0	0,7	2,7	0,1	16,0
5855	Guamil	30-60	Chicacnab	1,5	0,1	0,0	0,1	5,1	0,1	0,0	0,0	6,8	98,2	0,9	0,2	0,0	0,0	0,8	3,5	0,1	18,5
5856	milpa 15	0-30	Chicacnab	0,8	4,2	0,0	0,2	3,0	0,1	0,0	0,2	8,6	47,4	48,5	0,1	0,0	0,0	0,4	3,8	0,3	3,3
5857	milpa 15	30-60	Chicacnab	0,5	5,1	0,0	0,1	1,5	0,1	0,0	0,3	7,6	28,1	67,2	0,1	0,0	0,0	0,2	2,8	0,3	3,8
5858	descanso	0-30	Chicacnab	0,4	4,0	0,0	0,3	2,2	0,1	0,0	0,1	7,3	40,9	55,0	0,1	0,0	0,0	0,3	5,0	0,7	1,4
5859	descanso	30-60	Chicacnab	0,1	3,5	0,0	0,2	0,5	0,1	0,0	0,1	4,6	18,5	76,4	0,0	0,0	0,0	0,1	4,1	1,3	0,8
5860	milpa 60	0-30	Chicacnab	0,5	1,3	0,0	0,4	4,8	0,1	0,0	0,0	7,1	79,2	18,5	0,1	0,0	0,1	0,7	9,9	0,8	1,2
5861	milpa 60	30-60	Chicacnab	0,2	0,7	0,0	0,1	2,3	0,0	0,0	0,0	3,3	77,2	21,1	0,0	0,0	0,0	0,7	14,6	0,8	1,2
5862	milpa 25	0-30	Chicacnab	0,5	3,2	0,0	0,2	2,4	0,1	0,1	0,1	6,6	47,4	48,1	0,1	0,0	0,0	0,4	4,6	0,3	3,0
5863	milpa 25	30-60	Chicacnab	0,1	1,5	0,0	0,2	0,4	0,0	0,0	0,0	2,3	30,9	65,9	0,0	0,0	0,1	0,2	3,9	1,4	0,7
5864	Primärwald	0-30	Chicacnab	1,5	4,1	0,1	0,2	4,3	0,4	0,0	0,2	10,8	56,6	38,0	0,1	0,0	0,0	0,4	2,9	0,2	6,6
5865	Primärwald	30-60	Chicacnab	0,7	2,5	0,0	0,1	1,6	0,1	0,0	0,1	5,1	46,0	48,8	0,1	0,0	0,0	0,3	2,4	0,1	11,8
5866	milpa 100	0-30	Chelemhá	0,5	1,7	0,0	0,4	3,0	0,4	0,0	0,0	6,0	65,2	28,0	0,1	0,0	0,1	0,5	5,5	0,7	1,4
5867	milpa 100	30-60	Chelemhá	0,2	0,6	0,0	0,1	1,1	0,2	0,0	0,0	2,3	62,4	25,4	0,1	0,0	0,0	0,5	5,0	0,5	2,2
5868	Kiefernauforstung	0-30	Chelemhá	2,8	1,5	0,0	0,7	10,6	0,2	0,0	0,0	16,0	88,6	9,6	0,2	0,0	0,0	0,7	3,7	0,3	3,9
5869	Kiefernauforstung	30-60	Chelemhá	0,4	3,1	0,1	0,1	2,0	0,0	0,0	0,0	5,8	44,3	53,5	0,1	0,0	0,0	0,3	5,2	0,4	2,5
5870	Kiefernauforstung	0-30	Chelemhá	2,0	1,8	0,0	1,0	7,3	0,2	0,0	0,1	12,3	83,5	14,4	0,2	0,0	0,1	0,6	3,7	0,5	2,0
5871	Kiefernauforstung	30-60	Chelemhá	0,3	1,9	0,0	0,1	1,6	0,1	0,0	0,0	4,0	49,8	47,8	0,1	0,0	0,0	0,4	6,3	0,6	1,8
5872	Primärwald	0-30	Chelemhá	1,2	9,4	0,1	0,4	1,8	0,1	1,4	1,0	15,4	22,6	61,4	0,1	0,0	0,0	0,1	1,5	0,3	3,3
5873	Primärwald	30-60	Chelemhá	0,1	4,6	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,1	5,4	6,4	86,4	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	0,5	1,9
5874	Sekundär 10	0-30	Chelemhá	0,3	5,6	0,0	0,1	1,7	0,0	0,2	0,5	8,5	24,5	66,5	0,0	0,0	0,0	0,2	5,1	0,3	3,2
5875	Sekundär 10	30-60	Chelemhá	0,4	4,1	0,0	0,0	1,3	0,0	0,1	0,5	6,4	26,3	64,8	0,1	0,0	0,0	0,2	3,3	0,1	7,8
5876	Sekundär 7	0-30	Chelemhá	2,7	3,1	0,0	0,5	7,0	0,2	0,1	0,1	13,6	74,9	22,5	0,2	0,0	0,0	0,5	2,7	0,2	5,8
5877	Sekundär 7	30-60	Chelemhá	0,9	2,7	0,1	0,2	2,0	0,1	0,0	0,0	6,1	52,7	45,1	0,1	0,0	0,0	0,3	2,3	0,2	5,5
5878	milpa 10	0-30	Mestelá	1,0	0,1	0,0	0,2	8,2	0,1	0,0	0,0	9,6	98,4	0,6	0,1	0,0	0,0	0,9	7,9	0,2	4,5
5879	milpa 10	30-60	Mestelá	0,6	0,1	0,0	0,1	5,2	0,0	0,0	0,0	5,9	98,2	1,2	0,1	0,0	0,0	0,9	8,9	0,2	5,5
5880	Primärwald	0-30	Mestelá	1,7	11,4	0,1	0,5	3,7	0,1	1,2	2,2	20,8	28,8	54,6	0,1	0,0	0,0	0,2	2,3	0,3	3,2
5881	Primärwald	30-60	Mestelá	0,1	2,6	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	3,1	6,7	85,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	0,1	13,6
5882	Weide	0-30	Mestelá	0,3	2,0	0,0	0,1	1,1	0,2	0,0	0,0	3,8	40,2	52,9	0,1	0,0	0,0	0,3	3,4	0,4	2,5
5883	Weide	30-60	Mestelá	0,2	0,2	0,0	0,0	0,4	0,1	0,0	0,0	0,9	70,1	19,8	0,2	0,0	0,0	0,5	2,4	0,2	5,9
5884	milpa	0-30	Mestelá	0,4	1,3	0,0	0,2	2,0	0,1	0,0	0,0	4,0	65,6	31,4	0,1	0,0	0,1	0,5	4,6	0,5	1,8
5885	milpa	30-60	Mestelá	0,2	0,1	0,0	0,2	0,6	0,0	0,0	0,0	1,2	86,4	11,3	0,2	0,0	0,2	0,5	3,5	1,2	0,8

Tabelle 53: Effektive Kationenaustauschkapazitäten der Proben 5841-5885

Lfd.-Nr.	Landnutzung	Tiefe	Region	Mg ²⁺ [mmol/100g]	Al ³⁺ [mmol/100g]	Na ⁺ [mmol/100g]	K ⁺ [mmol/100g]	Ca ²⁺ [mmol/100g]	Mn [mmol/100g]	Fe ³⁺ [mmol/100g]	H ₂ O ⁺ [mmol/100g]	KAK _{off.} [mmol/100g]	BS [%]	Al-Sättigung [%]	Mg-Sättigung	Na-Sättigung	K-Sättigung	Ca-Sättigung	Ca/Mg	K/Mg	Mg/K
5886	milpa	0-30	Mestelá	1,0	0,1	0,0	0,5	9,4	0,1	0,0	0,0	11,0	98,9	0,5	0,1	0,0	0,0	0,9	9,7	0,5	1,8
5887	milpa	30-60	Mestelá	0,4	0,3	0,0	0,2	4,5	0,1	0,0	0,0	5,4	93,7	5,3	0,1	0,0	0,0	0,8	12,6	0,5	1,9
5888	Sekundär	0-30	Mestelá	1,2	0,0	0,0	0,4	15,6	0,1	0,0	0,0	17,4	99,2	0,3	0,1	0,0	0,0	0,9	12,8	0,3	2,9
5889	Sekundär	30-60	Mestelá	0,4	0,0	0,0	0,1	9,6	0,0	0,0	0,0	10,2	99,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,9	24,9	0,3	3,3
5890	milpa	0-30	Mestelá	11,9	0,0	0,0	0,4	15,2	0,0	0,0	0,0	27,5	99,8	0,0	0,4	0,0	0,0	0,6	1,3	0,0	27,4
5891	milpa	30-60	Mestelá	1,8	0,2	0,0	0,2	5,1	0,1	0,0	0,0	7,4	96,8	2,3	0,2	0,0	0,0	0,7	2,9	0,1	7,6
5892	milpa 15	0-30	Mestelá	12,8	0,0	0,0	0,2	17,7	0,0	0,0	0,0	30,7	99,9	0,0	0,4	0,0	0,0	0,6	1,4	0,0	82,2
5893	milpa 15	30-60	Mestelá	10,8	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0	0,0	0,0	21,9	99,9	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5	1,0	0,0	n.b.
5894	milpa	0-30	Mestelá	2,3	0,1	0,0	0,4	9,6	0,1	0,0	0,0	12,6	98,3	1,1	0,2	0,0	0,0	0,8	4,1	0,2	6,0
5895	milpa	30-60	Mestelá	0,6	0,3	0,0	0,1	2,6	0,1	0,0	0,0	3,8	89,9	8,3	0,2	0,0	0,0	0,7	4,3	0,2	4,6
5896	milpa	0-30	Mestelá	3,3	0,0	0,0	0,6	11,9	0,2	0,0	0,0	16,0	98,8	0,2	0,2	0,0	0,0	0,7	3,6	0,2	5,2
5897	milpa	30-60	Mestelá	0,5	0,5	0,0	0,0	1,3	0,3	0,0	0,0	2,7	70,9	18,1	0,2	0,0	0,0	0,5	2,5	0,1	18,6
5898	milpa >100 Brand	0-30	Chelemhá	0,8	3,4	0,0	0,3	2,9	0,2	0,1	0,1	7,8	52,2	43,7	0,1	0,0	0,0	0,4	3,5	0,4	2,6
5899	milpa >100 Brand	30-60	Chelemhá	0,2	2,6	0,0	0,1	2,1	0,0	0,1	0,0	5,1	47,6	50,2	0,0	0,0	0,0	0,4	8,7	0,3	3,3
5900	milpa >100 ohne Brand	0-30	Chelemhá	0,7	1,0	0,1	0,4	4,3	0,3	0,0	0,0	6,8	80,8	14,2	0,1	0,0	0,1	0,6	6,1	0,6	1,7
5901	milpa >100 ohne Brand	30-60	Chelemhá	0,4	0,6	0,0	0,2	2,5	0,3	0,0	0,0	4,0	77,7	16,0	0,1	0,0	0,0	0,6	5,8	0,4	2,5
5902	Primärwald	0-30	Chelemhá	1,5	5,6	0,1	0,6	2,4	0,1	1,3	3,4	15,0	30,6	37,4	0,1	0,0	0,0	0,2	1,6	0,4	2,6
5903	Primärwald	0-30	Chelemhá	0,7	7,8	0,1	0,3	1,3	0,0	1,2	2,0	13,3	17,0	58,7	0,1	0,0	0,0	0,1	1,9	0,4	2,6
5904	Primärwald	0-30	Chelemhá	5,5	1,7	0,4	1,2	6,9	0,1	0,2	5,3	21,3	65,8	7,8	0,3	0,0	0,1	0,3	1,2	0,2	4,6
5905	Primärwald	0-30	Chelemhá	0,8	10,4	0,1	0,4	1,4	0,0	1,4	0,6	15,0	17,8	69,0	0,1	0,0	0,0	0,1	1,7	0,5	1,9
5906	Primärwald	0-30	Chelemhá	3,0	0,6	0,2	1,1	16,8	0,2	0,0	5,5	27,5	77,3	2,1	0,1	0,0	0,0	0,6	5,5	0,4	2,7
5907	Primärwald	30-60	Chelemhá	0,1	6,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	6,9	3,8	89,8	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,2	4,2
5908	Primärwald	30-60	Chelemhá	0,1	6,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	6,7	2,3	93,2	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,1	14,1
5909	Primärwald	30-60	Chelemhá	0,1	1,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	1,5	16,7	69,0	0,1	0,0	0,0	0,1	1,0	0,2	4,6
5910	Primärwald	30-60	Chelemhá	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	27,2	60,7	0,1	0,0	0,0	0,1	0,8	0,1	13,5
5911	Primärwald	30-60	Chelemhá	0,4	8,8	0,0	0,1	1,3	0,0	1,0	0,5	12,1	15,6	72,1	0,0	0,0	0,0	0,1	3,0	0,2	5,5
	Mittelwert		Chelemhá	0,93	3,43	0,08	0,29	2,84	0,11	0,29	0,66	8,62	43,63	47,46	0,09	0,02	0,03	0,30	3,95	0,44	3,48
			Chicacnab	1,28	2,65	0,04	0,28	5,47	0,31	0,04	0,16	10,23	54,64	41,06	0,09	0,00	0,03	0,42	4,68	0,53	5,24
			Mestelá	2,93	0,64	0,01	0,22	8,02	0,07	0,05	0,07	12,00	88,10	9,59	0,20	0,00	0,03	0,65	5,30	0,22	54,32
	Standardabweichung		Chelemhá	1,24	2,72	0,10	0,33	3,57	0,13	0,45	1,44	6,39	25,52	24,96	0,06	0,03	0,02	0,20	2,45	0,29	2,91
			Chicacnab	1,94	2,31	0,06	0,34	7,88	0,72	0,08	0,32	10,17	32,67	31,30	0,07	0,01	0,02	0,27	2,61	0,48	6,17
			Mestelá	3,79	2,08	0,02	0,19	6,24	0,06	0,22	0,39	8,71	23,28	20,12	0,13	0,00	0,03	0,22	5,50	0,25	209,45
	Minimalwert		Chelemhá	0,00	0,08	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,22	2,27	2,14	0,00	0,00	0,00	0,01	0,54	0,07	0,00
			Chicacnab	0,07	0,00	0,00	0,04	0,21	0,00	0,00	0,00	1,16	8,17	0,00	0,02	0,00	0,01	0,05	2,15	0,04	0,47
			Mestelá	0,09	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	0,87	6,74	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03	0,97	0,00	0,81
	Maximalwert		Chelemhá	5,53	10,37	0,42	1,19	16,84	0,51	1,42	5,71	27,48	88,61	93,21	0,26	0,14	0,08	0,66	11,96	1,53	14,14
			Chicacnab	7,89	8,45	0,30	1,84	32,78	3,53	0,33	1,81	47,46	99,91	85,60	0,27	0,02	0,10	0,88	14,62	2,14	26,77
			Mestelá	12,78	11,38	0,09	0,70	26,05	0,27	1,21	2,19	30,69	99,95	85,29	0,51	0,01	0,19	0,94	24,91	1,24	1156,57
	Gesamt		Mittelwert	1,58	2,41	0,05	0,27	5,13	0,17	0,14	0,33	10,08	59,31	35,13	0,12	0,01	0,03	0,43	4,57	0,41	17,36
			Standardabweichung	2,51	2,65	0,08	0,30	6,36	0,44	0,33	0,97	8,51	32,86	30,40	0,10	0,02	0,03	0,27	3,59	0,38	108,00
			Minimalwert	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,22	2,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,54	0,00	0,00
			Maximalwert	12,78	11,38	0,42	1,84	32,78	3,53	1,42	5,71	47,46	99,95	93,21	0,51	0,14	0,19	0,94	24,91	2,14	1156,57

Tabelle 54: Effektive Kationenaustauschkapazitäten der Proben 5886-5911

Probe	Landnutzung	Tiefe	Region	Na	K	Mg	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb
5796	Primärwald	0-10	Chicacnab	1274,8	12164,2	10317,5	8536,8	1,5	2596,4	18148,1	0,0	5,4	0,0	50,0	35104,1	992,7	1260,9	0,0	0,0	0,0	0,0
5797	Primärwald	10-19	Chicacnab	1736,7	19629,2	16285,3	2967,3	22,4	1949,7	29672,5	0,0	67,1	0,0	73,8	58549,1	635,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5798	Primärwald	19-40	Chicacnab	1459,0	23906,1	20883,9	1688,0	31,3	1177,4	35209,6	0,0	42,5	0,0	123,1	72025,0	344,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5799	Primärwald	40-100	Chicacnab	818,8	28963,5	30577,1	780,7	45,5	1005,9	37801,1	0,0	147,3	0,0	216,2	80180,3	249,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5800	Guamil	0-5	Chicacnab	857,4	28580,6	31736,1	4136,4	40,0	481,3	37834,3	0,0	144,7	0,0	63,9	68699,9	445,7	276,4	0,0	0,0	0,0	0,0
5801	Guamil	5-48	Chicacnab	889,6	32461,9	36935,3	2220,1	57,0	480,9	42790,0	0,0	90,7	0,0	65,6	81232,6	247,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5802	Guamil	48-52	Chicacnab	1225,3	24859,9	31602,1	6710,8	30,3	774,5	36528,6	0,0	126,2	0,0	45,2	63381,2	616,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5803	Guamil	52-65	Chicacnab	1418,1	25685,9	32082,2	3887,6	29,5	444,0	35508,4	0,0	116,4	0,0	26,0	66761,1	412,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5804	Guamil	65-120	Chicacnab	667,6	30237,4	42905,4	1278,6	40,2	580,6	40931,3	0,0	129,9	0,0	63,6	72767,9	119,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5805	milpa 15	0-12	Chicacnab	1167,4	14266,9	6473,8	7823,7	8,0	1304,5	24448,8	0,0	17,3	0,0	1,5	41374,9	730,6	641,9	0,0	0,0	0,0	0,0
5806	milpa 15	12-55	Chicacnab	604,6	27705,6	9887,7	242,1	46,7	0,0	47243,0	0,0	111,2	0,0	0,0	73096,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5807	milpa 15	55-100	Chicacnab	574,7	32104,0	9568,7	185,3	37,4	244,8	41778,3	0,0	95,2	0,0	21,0	75458,7	25,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5808	descanso	0-9	Chicacnab	1745,1	24135,9	9768,4	2173,8	25,0	228,4	49518,1	0,0	37,3	0,0	186,8	76752,7	550,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5809	descanso	9-60	Chicacnab	934,7	30863,0	11484,9	583,4	36,0	814,0	58435,1	0,0	148,4	0,0	442,3	97450,0	182,3	0,0	0,0	0,0	0,0	16,6
5810	descanso	60-120	Chicacnab	591,5	36839,3	11506,0	230,2	43,8	2465,5	45326,9	0,0	117,3	0,0	1300,0	97212,6	249,6	0,0	0,0	0,0	0,0	249,3
5811	milpa 60	0-2	Chicacnab	2885,2	17746,7	15992,7	5845,2	14,6	1073,2	47886,6	0,0	76,5	0,0	119,7	81763,2	1359,8	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5812	milpa 60	2-35	Chicacnab	1640,8	19890,4	11890,5	1851,2	27,8	220,7	52499,1	0,0	79,6	0,0	88,4	106099,2	820,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5813	milpa 60	35-100	Chicacnab	2157,8	10946,0	10048,0	2074,9	3,2	1081,7	48704,5	0,0	89,9	0,0	15,2	132977,9	893,7	0,0	0,0	0,0	0,0	32,8
5814	milpa 25	0-5	Chicacnab	2119,7	8554,6	5920,7	4819,2	0,1	849,3	45496,6	0,0	0,0	0,0	114,2	56275,7	711,7	130,1	0,0	0,0	0,0	0,0
5815	milpa 25	5-20	Chicacnab	2546,5	7317,5	6044,1	3494,9	7,3	195,0	63220,7	0,0	34,8	0,0	107,5	68850,2	399,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5816	milpa 25	20-90	Chicacnab	759,3	10373,1	5612,0	581,8	18,9	190,6	54744,4	0,0	24,3	0,0	311,0	98844,1	182,8	0,0	0,0	0,0	0,0	28,9
5817	milpa 25	90-	Chicacnab	402,4	18942,9	6970,3	283,3	18,4	751,7	44549,0	0,0	82,3	0,0	703,5	94500,9	42,8	0,0	0,0	0,0	0,0	34,4
5818	Primärwald	0-10	Chicacnab	430,9	2246,6	1688,8	7573,9	0,0	142,3	5859,3	0,0	0,0	0,0	0,0	10140,6	688,3	2233,2	0,0	0,0	0,0	0,0
5819	Primärwald	10-20	Chicacnab	1064,0	19421,5	8481,9	886,5	30,0	12,6	41309,0	0,0	49,3	0,0	0,0	67930,5	87,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5820	Primärwald	20-50	Chicacnab	957,5	22315,5	11231,6	843,6	40,6	91,9	55211,2	0,0	37,1	0,0	35,3	97691,3	144,1	0,0	0,0	0,0	0,0	75,2
5821	Primärwald	50-100	Chicacnab	763,4	23995,8	12265,1	628,6	37,5	1011,3	58649,6	0,0	76,7	0,0	61,0	109911,7	196,7	0,0	0,0	0,0	0,0	118,1
5822	milpa 100	0-30	Chelelmhá	2100,2	8983,6	6421,7	3847,8	11,6	6320,6	66518,2	0,0	77,5	0,0	145,7	85186,2	1812,3	209,6	0,0	0,0	0,0	159,0
5823	milpa 100	30-50	Chelelmhá	2465,6	10222,7	6849,0	3168,7	10,7	8108,8	78507,7	0,0	121,0	0,0	100,2	99278,3	1814,9	201,6	0,0	0,0	0,0	158,5
5824	milpa 100	50-85	Chelelmhá	2518,1	7876,6	12581,1	1450,0	37,5	4315,5	91623,5	0,0	48,6	0,0	118,9	105075,8	1419,9	54,0	0,0	0,0	0,0	143,0
5825	Kiefernauforstung	0-17	Chelelmhá	2454,9	4440,6	7393,7	6214,4	3,5	1093,7	73136,6	0,0	196,0	0,0	52,3	85628,1	1410,0	553,1	0,0	0,0	0,0	135,9
5826	Kiefernauforstung	17-30	Chelelmhá	2154,9	3350,7	4126,6	3737,9	0,0	353,5	80956,7	0,0	77,1	0,0	3,7	83453,8	1297,2	599,1	0,0	0,0	0,0	26,8
5827	Kiefernauforstung	30-65	Chelelmhá	1037,9	4075,5	4876,4	2471,4	33,0	445,7	104585,6	0,0	184,6	0,0	35,6	115243,1	1004,4	0,0	0,0	0,0	0,0	145,0
5828	Kiefernauforstung	65-	Chelelmhá	1051,4	3645,5	6823,3	2341,2	29,4	395,1	87935,7	0,0	64,0	0,0	54,9	120639,6	869,0	0,0	0,0	0,0	0,0	190,8
5829	Primärwald	0-20	Chelelmhá	539,7	1043,6	979,7	963,2	0,0	0,0	6720,9	0,0	0,0	0,0	0,0	12958,3	525,2	1492,2	0,0	0,0	0,0	0,0
5830	Primärwald	20-30	Chelelmhá	2409,8	3031,9	2282,2	2388,8	3,0	0,0	14454,6	0,0	0,0	0,0	0,0	60334,0	370,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5831	Primärwald	30-55	Chelelmhá	1804,3	3204,2	2907,4	1592,6	15,1	81,3	69224,0	0,0	19,8	0,0	0,0	99569,0	373,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5832	Primärwald	55-100	Chelelmhá	6697,2	7227,1	4058,8	4308,8	0,0	163,3	13240,0	0,0	101,6	0,0	0,0	137030,9	463,1	1352,6	0,0	0,0	0,0	0,0
5833	Primärwald	100-130	Chelelmhá	4715,6	5539,9	1996,0	2078,8	0,0	181,6	32826,3	0,0	148,7	0,0	0,0	127293,4	161,7	1028,9	0,0	0,0	0,0	50,9
5834	Sekundär 10	0-10	Chelelmhá	1153,9	15885,7	6765,5	3811,1	11,7	82,1	20437,6	0,0	28,1	0,0	0,0	47336,5	611,0	215,9	0,0	0,0	0,0	0,0
5835	Sekundär 10	10-20	Chelelmhá	1670,2	20576,1	8469,0	2488,6	34,8	0,0	23950,5	0,0	96,5	0,0	0,0	62387,1	412,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5836	Sekundär 10	20-60	Chelelmhá	646,2	30520,6	11424,5	543,4	62,2	0,0	42179,8	0,0	80,9	0,0	0,0	81715,5	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5837	Sekundär 10	60-130	Chelelmhá	604,4	35182,5	14026,1	509,4	80,9	7,4	61239,4	0,0	174,1	0,0	37,3	97533,9	22,5	0,0	0,0	0,0	0,0	177,9
5838	Sekundär 7	0-17	Chelelmhá	3589,0	7236,4	10883,0	8264,4	21,9	828,0	72630,9	0,0	84,6	0,0	63,1	77346,5	1299,6	0,0	0,0	0,0	0,0	61,1
5839	Sekundär 7	17-50	Chelelmhá	4118,5	6646,9	13364,1	8491,2	26,8	1215,2	78387,9	0,0	51,0	0,0	99,3	86264,8	1131,0	0,0	0,0	0,0	0,0	130,7
5840	Sekundär 7	50-120	Chelelmhá	4947,6	7287,0	11323,8	8475,5	27,5	1320,8	83216,7	0,0	86,4	0,0	78,8	99021,4	1215,0	0,0	0,0	0,0	0,0	131,8

Tabelle 55: Werte der Totalgehalte der Proben 5796-5840 in mg/kg Boden

Probe	Landnutzung	Tiefe	Region	Na	K	Mg	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb
5841	milpa	0-6	Mestelá	2007,9	16147,3	9663,2	5225,7	19,4	3088,0	53342,8	0,0	104,6	0,0	406,6	92004,3	1282,0	338,6	0,0	0,0	0,0	0,0
5842	milpa	6-39	Mestelá	818,3	29319,3	14555,3	1899,7	28,0	6948,6	62366,9	0,0	128,9	0,0	618,3	86452,4	632,7	0,0	0,0	0,0	0,0	263,5
5843	milpa	39-46	Mestelá	706,0	38618,2	14573,6	1974,5	56,0	5426,9	54990,7	0,0	158,6	0,0	627,5	87527,9	227,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,3
5844	milpa	46-90	Mestelá	253,0	5065,6	110404,9	187149,1	0,0	163,0	4672,3	0,0	314,4	0,0	0,0	10299,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5845	milpa	0-20	Mestelá	1243,2	21238,4	25245,5	7516,3	22,2	7596,2	69160,1	0,0	270,4	0,0	1286,5	97464,0	1213,6	77,4	0,0	0,0	0,0	701,9
5846	milpa	20-50	Mestelá	748,5	19251,1	21944,3	2212,3	27,4	7374,0	69927,2	0,0	81,6	0,0	897,0	118664,5	775,7	0,0	0,0	0,0	0,0	620,2
5847	milpa	50-	Mestelá	798,1	16509,6	16822,9	1622,2	7,8	8422,7	73976,6	0,0	160,4	0,0	851,1	146132,0	646,4	0,0	0,0	0,0	0,0	743,6
5848	milpa	Sandaufflage	Mestelá	1096,2	22018,4	31191,7	49716,2	5,3	386,7	22265,6	0,0	172,5	0,0	23,4	47386,5	115,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5849	milpa	0-36	Mestelá	1682,1	23437,9	24072,0	23757,4	17,1	905,9	29754,0	0,0	123,3	0,0	96,8	57059,7	495,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5850	milpa	36-70	Mestelá	1899,4	24762,0	12565,5	3564,1	14,8	1214,2	32367,3	0,0	129,7	0,0	165,6	66349,2	305,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5851	milpa	70-110	Mestelá	2071,9	25757,5	16142,9	6099,6	17,9	847,7	34036,8	0,0	52,4	0,0	139,3	67659,1	373,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5852	Primärwald	0-30	Chicacnab	1345,5	22338,0	17185,2	2858,1	24,1	1749,9	32484,4	0,0	77,9	0,0	127,2	63008,6	419,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5853	Primärwald	30-60	Chicacnab	860,6	27215,4	23905,2	1158,9	36,1	1170,2	34904,1	0,0	80,5	0,0	145,5	72813,6	160,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5854	Guamil	0-30	Chicacnab	927,8	29703,7	40059,3	14344,6	44,0	563,3	39857,8	0,0	83,5	0,0	65,3	73457,4	419,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5855	Guamil	30-60	Chicacnab	786,8	31178,6	36358,5	2387,2	48,4	767,0	41003,7	0,0	96,0	0,0	71,6	76674,2	292,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5856	milpa 15	0-30	Chicacnab	1241,4	22102,9	8778,0	2042,5	31,5	230,6	39461,6	0,0	80,0	0,0	105,9	68412,8	172,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5857	milpa 15	30-60	Chicacnab	769,4	31927,8	12652,9	750,3	52,4	523,9	51453,9	0,0	73,4	0,0	147,1	83984,7	69,3	0,0	0,0	0,0	0,0	93,8
5858	descanso	0-30	Chicacnab	1469,1	23960,3	8939,2	1756,3	23,7	466,0	48714,7	0,0	37,4	0,0	205,0	78172,3	287,7	0,0	0,0	0,0	0,0	46,9
5859	descanso	30-60	Chicacnab	1065,9	30947,9	12057,1	902,6	37,8	1245,3	60592,9	0,0	63,6	0,0	466,4	88682,4	160,1	0,0	0,0	0,0	0,0	51,5
5860	milpa 60	0-30	Chicacnab	2542,0	22725,1	14755,0	4617,3	12,5	1188,8	42638,4	0,0	95,2	0,0	145,7	84947,8	1066,8	86,4	0,0	0,0	0,0	40,5
5861	milpa 60	30-60	Chicacnab	1820,9	24163,7	17205,3	2623,4	24,0	835,0	50969,3	0,0	98,8	0,0	170,7	101337,7	944,4	0,0	0,0	0,0	0,0	35,3
5862	milpa 25	0-30	Chicacnab	1818,2	10763,9	5305,4	2551,1	1,4	203,4	43124,3	0,0	107,7	0,0	195,4	61293,3	343,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5863	milpa 25	30-60	Chicacnab	1598,6	13748,8	6162,9	1318,3	19,6	316,0	63652,0	0,0	190,8	0,0	572,6	103485,4	226,8	0,0	0,0	0,0	0,0	98,9
5864	Primärwald	0-30	Chicacnab	1407,7	23481,8	11382,1	2489,0	34,5	948,6	48702,2	0,0	113,6	0,0	36,6	80987,1	246,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5865	Primärwald	30-60	Chicacnab	889,7	26638,2	12802,3	1068,8	44,0	1280,5	56025,7	0,0	145,9	0,0	79,6	104056,1	136,0	0,0	0,0	0,0	0,0	104,3
5866	milpa 100	0-30	Chelelhá	1805,2	10922,3	7163,5	3146,9	18,7	7217,4	82580,5	0,0	63,7	0,0	155,5	99599,4	1806,3	0,0	0,0	0,0	0,0	80,6
5867	milpa 100	30-60	Chelelhá	1249,2	11090,0	7786,4	1840,4	31,5	7557,4	86130,3	0,0	74,2	0,0	141,1	104210,4	1100,8	0,0	0,0	0,0	0,0	222,2
5868	Kiefernauforstung	0-30	Chelelhá	2415,2	5361,5	11387,8	6916,1	30,2	1136,0	82998,8	0,0	152,5	0,0	84,5	100722,8	1546,3	374,3	0,0	0,0	0,0	129,6
5869	Kiefernauforstung	30-60	Chelelhá	1948,1	4981,1	11316,7	4730,3	29,5	986,2	96595,9	0,0	130,4	0,0	75,4	124328,2	1384,5	3,7	0,0	0,0	0,0	364,2
5870	Kiefernauforstung	0-30	Chelelhá	2129,0	4684,9	9242,0	6177,2	11,7	1069,1	77859,9	0,0	100,1	0,0	53,6	86094,4	1293,9	62,4	0,0	0,0	0,0	18,0
5871	Kiefernauforstung	30-60	Chelelhá	2057,8	4371,1	9627,4	5087,3	26,7	1327,4	89517,6	0,0	189,3	0,0	64,0	109203,7	1414,8	58,4	0,0	0,0	0,0	117,1
5872	Primärwald	0-30	Chelelhá	1481,5	2578,1	3166,9	1837,0	0,0	86,2	45718,8	0,0	87,5	0,0	0,0	65706,0	426,0	190,9	0,0	0,0	0,0	0,0
5873	Primärwald	30-60	Chelelhá	1566,3	3636,2	4691,2	1286,8	11,8	235,3	69675,7	0,0	131,5	0,0	0,0	98109,7	304,4	0,0	0,0	0,0	0,0	45,6
5874	Sekundär 10	0-30	Chelelhá	1083,2	27647,2	10541,4	1388,8	44,3	0,0	43099,7	0,0	151,2	0,0	0,0	78179,5	183,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5875	Sekundär 10	30-60	Chelelhá	602,0	33664,3	14686,7	564,1	75,7	0,0	63468,1	0,0	113,3	0,0	19,7	93890,5	18,6	0,0	0,0	0,0	0,0	94,7
5876	Sekundär 7	0-30	Chelelhá	3300,3	3010,7	5489,3	7182,2	0,0	509,8	38978,8	0,0	40,7	0,0	0,0	40615,4	717,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5877	Sekundär 7	30-60	Chelelhá	5312,7	5109,7	9385,7	10332,0	22,8	987,9	68959,5	0,0	85,2	0,0	62,7	79985,6	1085,9	59,0	0,0	0,0	0,0	1,9
5878	milpa 10	0-30	Mestelá	1319,2	36166,2	21164,4	4812,6	52,5	1359,1	57771,7	0,0	150,2	0,0	577,7	104263,9	971,0	0,0	0,0	0,0	0,0	138,0
5879	milpa 10	30-60	Mestelá	974,6	31466,2	18405,3	2618,2	51,5	1113,2	52672,7	0,0	124,8	0,0	506,5	95131,4	683,4	0,0	0,0	0,0	0,0	26,9
5880	Primärwald	0-30	Mestelá	1160,3	1709,5	1771,8	2193,4	0,0	0,1	24716,7	0,0	136,1	0,0	0,0	21179,8	305,1	696,9	0,0	0,0	0,0	0,0
5881	Primärwald	30-60	Mestelá	617,1	3562,6	3145,6	1006,8	29,2	2,4	51712,1	0,0	174,7	0,0	0,0	74368,5	72,2	73,9	0,0	0,0	0,0	27,5
5882	Weide	0-30	Mestelá	4667,0	3585,3	4491,0	6486,7	0,0	3530,4	70905,4	0,0	0,0	0,0	147,5	96487,5	2112,2	529,7	0,0	0,0	0,0	87,4
5883	Weide	30-60	Mestelá	3961,3	3751,0	4279,0	4502,5	0,0	2582,2	92567,1	0,0	0,0	0,0	218,7	136219,8	1774,7	175,9	0,0	0,0	0,0	342,3
5884	milpa	0-30	Mestelá	2063,6	17937,9	10644,6	3549,6	0,0	916,4	50330,4	0,0	0,0	0,0	202,1	102568,5	1249,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
5885	milpa	30-60	Mestelá	1174,1	13486,0	12516,4	1311,2	0,0	677,3	62751,5	0,0	0,0	0,0	289,6	144427,8	963,0	121,1	0,0	0,0	0,0	14,4

Tabelle 56: Werte der Totalgehalte der Proben 5841-5885 in mg/kg Boden

Probe	Landnutzung	Tiefe	Region	Na	K	Mg	Ca	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Al	P	S	Mo	Cd	Tl	Pb
5886	milpa	0-30	Mestelá	1385,4	26411,4	40056,6	4877,6	0,0	637,6	42520,1	0,0	66,6	0,0	0,0	79411,8	496,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5887	milpa	30-60	Mestelá	1037,3	29538,0	46243,2	2569,4	0,0	617,2	43524,7	0,0	86,1	0,0	0,0	83792,4	359,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5888	Sekundär	0-30	Mestelá	1601,4	23433,4	33274,8	7430,8	0,0	577,9	40556,0	0,0	0,0	0,0	0,0	82576,5	670,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5889	Sekundär	30-60	Mestelá	1214,8	27269,5	38435,6	4543,7	0,0	493,5	40114,7	0,0	0,0	0,0	0,0	86363,3	444,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5890	milpa	0-30	Mestelá	1320,4	27222,3	24286,8	27913,6	0,0	2091,4	60744,9	0,0	43,2	0,0	435,7	113891,8	1227,4	0,0	0,0	0,0	0,0	178,6
5891	milpa	30-60	Mestelá	2317,4	28758,4	10710,0	4508,8	0,0	2351,8	69760,4	0,0	91,1	0,0	428,5	136102,3	1568,7	0,0	0,0	0,0	0,0	45,9
5892	milpa 15	0-30	Mestelá	815,3	23893,4	57611,2	82200,1	0,0	2188,5	48332,4	0,0	194,1	0,0	666,9	82356,6	757,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5893	milpa 15	30-60	Mestelá	327,6	4861,1	118930,1	199717,2	0,0	283,0	6212,3	0,0	147,9	0,0	0,0	11973,4	242,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5894	milpa	0-30	Mestelá	3842,4	7443,6	5011,6	7332,1	0,0	2873,2	49715,7	0,0	84,4	0,0	269,9	122604,5	2529,7	310,7	0,0	0,0	0,0	0,0
5895	milpa	30-60	Mestelá	3897,1	8150,6	4226,6	3595,7	0,0	2803,1	47052,9	0,0	0,0	0,0	126,1	141934,0	1447,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5896	milpa	0-30	Mestelá	1285,7	7617,5	6936,5	4777,0	0,0	2542,1	45968,9	0,0	20,2	0,0	191,5	106161,1	462,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5897	milpa	30-60	Mestelá	688,2	9940,7	6600,7	1198,4	0,0	2529,7	43429,7	0,0	47,2	0,0	213,9	101763,4	270,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5898	milpa >100 Brand	0-30	Chelelhá	1744,2	2611,3	3080,6	3109,8	0,0	375,3	64328,3	0,0	0,0	0,0	0,0	76249,1	983,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5899	milpa >100 Brand	30-60	Chelelhá	1126,3	2650,8	3229,1	1562,2	0,0	163,6	71648,9	0,0	0,0	0,0	0,0	97352,0	448,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5900	milpa >100 ohne Brand	0-30	Chelelhá	2717,4	11392,7	9765,3	5494,0	0,0	6408,6	82715,3	0,0	21,9	0,0	108,9	93157,9	2132,6	86,9	0,0	0,0	0,0	15,0
5901	milpa >100 ohne Brand	30-60	Chelelhá	2377,9	12081,8	9208,0	3701,6	0,0	6211,7	76667,0	0,0	64,1	0,0	71,1	97806,9	1624,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5902	Primärwald	0-30	Chelelhá	438,2	877,2	2884,3	1188,9	0,0	73,8	51042,8	0,0	33,4	0,0	0,0	77387,6	730,5	111,8	0,0	0,0	0,0	0,0
5903	Primärwald	0-30	Chelelhá	668,0	4024,3	3206,0	1183,5	0,0	23,5	51291,4	0,0	1,5	0,0	0,0	78528,3	506,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5904	Primärwald	0-30	Chelelhá	403,3	997,0	950,8	1910,1	0,0	0,0	2115,5	0,0	0,0	0,0	0,0	4576,6	730,8	1213,4	0,0	0,0	0,0	0,0
5905	Primärwald	0-30	Chelelhá	4610,5	4917,5	2696,5	3608,8	0,0	91,4	30252,1	0,0	0,0	0,0	0,0	54583,5	644,5	183,9	0,0	0,0	0,0	0,0
5906	Primärwald	0-30	Chelelhá	196,2	756,6	507,5	4350,9	0,0	0,0	1158,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2272,8	601,6	653,3	0,0	0,0	0,0	0,0
5907	Primärwald	30-60	Chelelhá	146,5	878,9	6981,2	138,8	0,0	613,9	82749,5	0,0	0,0	0,0	0,0	126826,6	795,7	0,0	0,0	0,0	0,0	148,6
5908	Primärwald	30-60	Chelelhá	329,6	3935,0	3801,2	324,9	0,0	158,2	76759,5	0,0	0,0	0,0	0,0	122810,1	589,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5909	Primärwald	30-60	Chelelhá	2811,0	3426,2	1741,6	1641,0	0,0	158,2	96153,0	0,0	14,7	0,0	0,0	105046,1	526,1	676,8	0,0	0,0	0,0	0,0
5910	Primärwald	30-60	Chelelhá	5433,9	6507,1	1843,6	2153,4	0,0	91,0	48325,2	0,0	0,0	0,0	0,0	124588,1	607,0	835,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5911	Primärwald	30-60	Chelelhá	1956,2	2094,7	3771,8	2886,2	0,0	106,4	59550,3	0,0	2,3	0,0	0,0	81810,4	638,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Min				146,5	756,6	507,5	138,8	0,0	0,0	1158,8	0,0	0,0	0,0	0,0	2272,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Max				6697,2	38618,2	118930,1	199717,2	80,9	8422,7	104585,6	0,0	314,4	0,0	1300,0	146132,0	2529,7	2233,2	0,0	0,0	0,0	743,6
Mittelwert				1688,1	15806,6	14632,2	8034,2	18,9	1419,8	51751,9	0,0	81,5	0,0	153,3	84774,7	689,9	148,1	0,0	0,0	0,0	60,6

Tabelle 57: Werte der Totalgehalte der Proben 5886-5911 in mg/kg Boden

Codierung	nFK in mm	nFKWe in mm	Durchwurzelungs- tiefe in cm	Bodenart	Humus- gehalt
LP 1	32,5	289,1	> 120	Lts	h7
	36,4			Lt3	h6
	58,9			Tu2	h6
	161,3			Lt3	h5
LP 2	11,8	183,9	> 120	Lts	h5
	83,9			Lts	h3
	13,4			Lt3	h5
	28,5			TI	h4
	46,3			Lts	h2
LP 3	41,5	128,9	> 120	Tu2	h7
	49,8			Tu2	h1
	37,6			Lt3	h1
LP 4	29,1	140,9	> 120	Tu2	h5
	54,1			TI	h3
	57,6			Lt3	h1
LP 5	8,3	363,1	> 120	SI4	h6
	110,4			SI3	h5
	244,4			Su2	h5
LP 6	17,5	275,1	> 120	Tu2	h6
	61,0			Lt2	h5
	182,6			Lt3	h4
	14,0			Lt3	h1
LP 7	33,2	189,7	> 120	TI	h7
	11,4			Tu2	h2
	52,0			Tt	h4
	93,1			TI	h4
LP 8	127,5	290,0	> 120	SI3	h6
	72,0			Ls4	h5
	90,5			Ls4	h4
LP 9	69,7	364,0	> 120	Ls3	h7
	52,9			Ls3	h7
	118,9			Ls4	h5
	122,5			SI3	h5
LP 10	64,1	219,0008	70	TI	h7
	50,6			Ss	h6
	73,9			Lts	h5
	91,2			Lt3	h3
				Su3	h3
LP 11	34,5	142,6	> 120	Tu2	h7
	32,1			Lt3	h5
	40,7			TI	h2
	35,4			Tu2	h1
LP 12	63,3	412,8	> 120	Lt3	h6
	140,8			SI2	h6
	208,7			Su2	h5
LP 13	25,0	101,1	45	Ls3	h6
	67,1			Lts	h3
	9,0			Lt3	h1
	173,7			Us	h6
LP 14	58,3	222,3	> 120	Lts	h5
	52,5			TI	h3
	111,6			SI4	h2
LP 15		243,4	> 120	TI	h4
	109,1			Ls3	h4
	70,4			Lts	h2
	63,9			St3	h2

Tabelle 58: Nutzbare Feldkapazitäten des effektiven Wurzelraumes der Leitprofile

Codierung	Horizonttiefe	GPV	Enge Poren	Mittlere Poren	Enge Grobporen	Weite Grobporen	SV [%]
LP 1	0-10	74,38	33,48	20,25	5,27	15,38	25,62
	10-19	73,98	32,16	21,04	5,36	15,43	26,02
	19-40	65,79	36,28	16,94	2,51	10,06	34,21
	40-100	60,03	33,96	14,27	2,61	9,19	39,97
LP 2	0-5	57,34	28,17	13,14	3,50	12,53	42,67
	5-48	60,70	30,67	12,64	5,38	12,02	39,30
	48-52	72,74	34,34	18,26	5,22	14,92	27,26
	52-65	65,03	37,10	12,84	4,98	10,11	34,97
	65-120	49,61	27,74	9,31	3,41	9,15	50,39
LP 3	0-12	76,59	39,07	19,61	4,94	12,96	23,41
	12-55	53,09	35,86	9,18	2,40	5,64	46,92
	55-100	43,51	32,49	5,46	2,90	2,66	56,49
LP 4	0-9	74,40	38,72	17,41	4,96	13,31	25,60
	9-60	56,56	45,06	6,48	1,63	3,39	43,44
	60-120	50,25	28,36	11,39	3,03	7,48	49,75
LP 5	0-2	69,24	18,80	23,62	13,37	13,44	30,76
	2-35	61,37	15,35	20,11	9,33	16,58	38,63
	35-100	59,28	7,96	23,26	10,84	17,23	40,72
LP 6	0-5	76,04	37,61	19,94	5,03	13,46	23,96
	5-20	71,80	25,25	23,78	9,90	12,86	28,20
	20-90	59,60	27,39	15,00	5,58	11,62	40,40
	90+	51,32	30,88	11,32	2,72	6,40	48,68
LP 7	0-10	76,77	40,09	18,34	4,86	13,47	23,23
	10-20	55,13	40,88	8,52	1,86	3,86	44,87
	20-50	58,29	49,44	5,63	1,21	2,03	41,71
	50-100	66,70	46,87	8,72	4,40	6,71	33,30
LP 8	0-30	68,96	16,14	25,89	12,60	14,33	31,04
	30-50	64,54	20,61	20,97	8,04	14,92	35,46
	50-85	56,39	19,34	15,80	6,05	15,20	43,61
LP 9	0-17	69,91	20,69	23,87	10,16	15,20	30,09
	17-30	70,67	22,62	23,63	10,05	14,37	29,33
	30-65	61,62	18,48	18,82	8,15	16,16	38,38
	65+	60,39	11,02	21,35	9,65	18,36	39,61
LP 10	0-20	78,05	43,58	17,42	4,65	12,39	21,96
	20-30	67,46	11,05	27,12	12,94	16,35	32,54
	30-55	64,97	28,73	16,06	6,49	13,69	35,03
	55-100	61,96	33,73	12,57	5,20	10,46	38,04
	100-130	51,46	6,05	17,97	6,85	20,59	48,54
LP 11	0-10	76,49	38,89	19,50	4,95	13,15	23,51
	10-20	67,06	33,83	15,86	6,20	11,17	32,94
	20-60	55,50	42,26	7,31	1,87	4,07	44,50
	60-130	56,53	44,65	7,27	1,57	3,03	43,47
LP 12	0-17	72,54	28,42	21,65	5,58	16,90	27,46
	17-50	67,68	12,85	26,36	12,79	15,67	32,32
	50-120	64,12	10,49	25,38	12,87	15,37	35,89
LP 13	0-6	69,67	19,86	24,42	10,22	15,18	30,33
	6-39	59,79	28,17	13,32	5,53	12,77	40,21
	39-46	51,30	31,35	10,04	2,85	7,06	48,70
	46-90	51,51	14,81	25,83	10,14	0,72	48,49
LP 14	0-20	68,55	31,27	16,73	5,40	15,15	31,45
	20-50	64,29	40,40	10,20	4,79	8,90	35,71
	50+	53,93	13,16	15,42	6,40	18,95	46,07
LP 15	Sandauflage	67,24	43,15	11,19	4,62	8,28	32,76
	0-36	58,82	17,34	19,13	7,18	15,16	41,18
	36-70	56,68	20,29	14,22	5,98	16,18	43,32
	70-110	55,69	17,72	14,67	6,14	17,17	44,31

Tabelle 59: Gesamtporenvolumen und Substanzvolumen der Leitprofilhorizonte

Lfd.-Nr.	Landnutzung	Tiefe	Region	mg/kg Boden P-Bray-1	mg/kg Boden P-total	Anteil P- Bray an P-total [%]
5796	Primaerwald	0-10	Chicacnab	848,79	992,70	85,50
5800	Guamil	0-5	Chicacnab	86,84	445,70	19,48
5805	milpa 15	0-12	Chicacnab	547,24	730,60	74,90
5808	descanso	0-9	Chicacnab	88,62	550,40	16,10
5811	milpa 60	0-2	Chicacnab	123,22	1359,80	9,06
5814	milpa 25	0-5	Chicacnab	99,01	711,70	13,91
5852	Primaerwald	0-30	Chicacnab	53,88	419,40	12,85
5853	Primaerwald	30-60	Chicacnab	10,09	160,60	6,28
5854	Guamil	0-30	Chicacnab	20,95	419,80	4,99
5855	Guamil	30-60	Chicacnab	47,29	292,70	16,16
5856	milpa 15	0-30	Chicacnab	49,02	172,40	28,43
5857	milpa 15	30-60	Chicacnab	14,12	69,30	20,37
5858	descanso	0-30	Chicacnab	29,96	287,70	10,41
5859	descanso	30-60	Chicacnab	87,64	160,10	54,74
5860	milpa 60	0-30	Chicacnab	38,69	1066,80	3,63
5861	milpa 60	30-60	Chicacnab	12,08	944,40	1,28
5862	milpa 25	0-30	Chicacnab	23,38	343,80	6,80
5863	milpa 25	30-60	Chicacnab	8,24	226,80	3,63
5866	milpa 100 mit Schutz	0-30	Chelemhá	24,49	1806,30	1,36
5867	milpa 100 mit Schutz	30-60	Chelemhá	18,39	1100,80	1,67
5870	Kiefernauaufforstung	0-30	Chelemhá	20,99	1293,90	1,62
5871	Kiefernauaufforstung	30-60	Chelemhá	17,98	1414,80	1,27
5872	Primaerwald	0-30	Chelemhá	126,92	426,00	29,79
5873	Primaerwald	30-60	Chelemhá	35,41	304,40	11,63
5874	Sekundaer 10	0-30	Chelemhá	20,39	183,20	11,13
5875	Sekundaer 10	30-60	Chelemhá	4,52	18,60	24,30
5876	Sekundaer 7	0-30	Chelemhá	61,13	717,50	8,52
5877	Sekundaer 7	30-60	Chelemhá	23,81	1085,90	2,19
5878	milpa 10	0-30	Mestelá	19,55	971,00	2,01
5880	Primaerwald	0-30	Mestelá	251,70	305,10	82,50
5888	Sekundaer	0-30	Mestelá	28,90	670,20	4,31
5892	milpa 15	0-30	Mestelá	27,26	757,40	3,60
5894	milpa	0-30	Mestelá	14,48	2529,70	0,57
5898	milpa >100 Brand	0-30	Chelemhá	72,77	983,70	7,40
5899	milpa >100 Brand	30-60	Chelemhá	6,09	448,30	1,36
5900	milpa >100 ohne Brand	0-30	Chelemhá	15,87	2132,60	0,74
5901	milpa >100 ohne Brand	30-60	Chelemhá	5,46	1624,30	0,34
5902	Primaerwald	0-30	Chelemhá	242,99	730,50	33,26
5903	Primaerwald	0-30	Chelemhá	75,19	506,10	14,86
5904	Primaerwald	0-30	Chelemhá	730,45	730,80	99,95
5905	Primaerwald	0-30	Chelemhá	49,83	644,50	7,73
5906	Primaerwald	0-30	Chelemhá	416,66	601,60	69,26

Tabelle 60: Gegenüberstellung der totalen und verfügbaren Phosphordaten

		Einwaage [g]	Gewicht nach x Wochen [105°C getrocknet] [g]	Gewicht ohne Trocknung	Tiegel Taragewicht	Tiegel + Rest	Restmineralgehalt	Zelluloseabbau [g]	Zelluloseabbau [mg/d]
3-1	Primärwald, 4 Wochen, März/April	20	19,605	21,0322	122,695	122,705	0,01	0,385	13,7
3-2	- " -	20	19,594	20,9704	122,561	122,575	0,014	0,392	14,0
3-3	- " -	20	19,507	20,9975	122,866	122,878	0,012	0,481	17,2
3-4	- " -	20	19,501	21,0293	123,545	123,554	0,009	0,49	17,5
3-5	- " -	20	19,748	21,2024	123,093	123,108	0,015	0,237	8,5
2-1	Sekundärwald, 4 Wochen, März/April	20	19,646	21,1347	122,23	122,26	0,03	0,324	11,6
2-2	- " -	20	19,673	21,1599	122,695	122,721	0,026	0,301	10,7
2-3	- " -	20	19,596	21,1312	122,558	122,578	0,02	0,384	13,7
2-4	- " -	20	19,404	20,9153	122,429	122,455	0,026	0,57	20,4
2-5	- " -	20	19,46	21,0185	123,544	123,554	0,01	0,53	18,9
1-1	milpa mit Bodenschutzmassnahmen bei Vicente, 4 Wochen, März/April	20	19,273	20,6207	122,233	122,262	0,029	0,698	24,9
1-2	- " -	20	19,188	20,5659	123,093	123,124	0,031	0,781	27,9
1-3	- " -	20	19,233	20,7367	121,645	121,664	0,019	0,748	26,7
1-4	- " -	20	19,427	20,957	123,093	123,121	0,028	0,545	19,5
1-5	- " -	20	19,182	20,5721	121,646	121,679	0,033	0,785	28,0
0-1	milpa ohne Bodenschutz mit Brand 4 Wochen, März/April	20	19,331	20,808	123,543	123,565	0,022	0,647	23,1
0-2	- " -	20	19,629	21,1335	122,694	122,723	0,029	0,342	12,2
0-3	- " -	20	19,23	20,6723	122,864	122,889	0,025	0,745	26,6
0-4	- " -	20	19,206	20,6118	122,431	122,456	0,025	0,769	27,5
0-5	- " -	20	19,166	20,6105	122,869	122,897	0,028	0,806	28,8
3-1/4	Primärwald, 4 Wochen	20	19,683	20,1829	122,869	122,873	0,004	0,313	11,2
3-2/4	- " -	20	20,049	20,7893	123,093	123,103	0,01	0	0,0
3-3/4	- " -	20	20,069	20,7819	121,646	121,659	0,013	0	0,0
3-4/4	- " -	20	20,026	20,6321	122,233	122,246	0,013	0	0,0
3-5/4	- " -	20	20,124	20,6479	122,561	122,575	0,014	0	0,0
3-1/8	Primärwald, 8 Wochen	20	19,652	20,7943	122,233	122,236	0,003	0,345	6,2
3-2/8	- " -	20	19,783	20,7943	122,561	122,569	0,008	0,209	3,7
3-3/8	- " -	20	19,839	20,9685	122,431	122,437	0,006	0,155	2,8
3-4/8	- " -	20	19,67	20,6236	123,545	123,557	0,012	0,318	5,7
3-5/8	- " -	20	19,695	20,4769	122,695	122,699	0,004	0,301	5,4
2-1/4	Sekundärwald, 4 Wochen	20	19,402	19,9299	122,233	122,259	0,026	0,572	20,4
2-2/4	- " -	20	20,028	20,5655	122,561	122,585	0,024	0	0,0
2-3/4	- " -	20	19,572	20,1744	122,431	122,461	0,03	0,398	14,2
2-4/4	- " -	20	19,819	20,2749	123,545	123,55	0,005	0,176	6,3
2-5/4	- " -	20	19,427	19,9909	122,695	122,709	0,014	0,559	20,0

Tabelle 61: Biologische Aktivität an verschiedenen Standorten

		Einwaage [g]	Gewicht nach x Wochen [105°C getrocknet]	Gewicht ohne Trocknung [g]	Tiegel Taragewicht	Tiegel + Rest	Restmineralgehalt	Zelluloseabbau [g]	Zelluloseabbau [mg/d]
2-1/8	Sekundärwald, 8 Wochen	20	16,235	16,9348	123,545	123,55	0,005	3,76	67,1
2-2/8	- " -	20	16,996	17,7069	122,695	122,709	0,014	2,99	53,4
2-3/8	- " -	20	18,486	19,1337	122,864	122,866	0,002	1,512	27,0
2-4/8	- " -	20	18,374	19,0192	123,093	123,101	0,008	1,618	28,9
2-5/8	- " -	20	19,059	19,7218	121,646	121,657	0,011	0,93	16,6
1-1/4	milpa mit Bodenschutzmassnahmen bei Vicente, 4 Wochen	20	19,087	19,6248	123,545	123,57	0,025	0,888	31,7
1-2/4	- " -	20	19,129	19,5379	122,695	122,72	0,025	0,846	30,2
1-3/4	- " -	20	20,172	20,6489	122,869	122,898	0,029	0	0,0
1-4/4	- " -	20	19,789	20,2729	123,093	123,124	0,031	0,18	6,4
1-5/4	- " -	20	19,94	20,4297	121,646	121,681	0,035	0,025	0,9
1-1/8	milpa mit Bodenschutzmassnahmen bei Vicente, 8 Wochen	20	18,736	19,3657	123,093	123,121	0,028	1,236	22,1
1-2/8	- " -	20	18,624	19,3417	121,646	121,68	0,034	1,342	24,0
1-3/8	- " -	20	19,4	20,0449	122,233	122,266	0,033	0,567	10,1
1-4/8	- " -	20	18,702	19,3599	122,561	122,594	0,033	1,265	22,6
1-5/8	- " -	20	13,634	14,1282	122,431	122,471	0,04	6,326	113,0
0-1/4	milpa ohne Bodenschutz mit Brand 4 Wochen	20	19,878	20,5139	121,646	121,674	0,028	0,094	3,4
0-2/4	- " -	20	19,182	19,5279	122,232	122,257	0,025	0,793	28,3
0-3/4	- " -	20	20,002	20,5111	122,56	122,577	0,017	0	0,0
0-4/4	- " -	20	7,092	7,2658	122,43	122,475	0,045	12,863	459,4
0-1/8	milpa ohne Bodenschutz mit Brand 4 Wochen	20	17,894	18,5585	122,431	122,448	0,017	2,089	37,3
0-2/8	- " -	20	19,442	20,3489	123,545	123,571	0,026	0,532	9,5
0-3/8	- " -	20	19,261	19,785	122,695	122,729	0,034	0,705	12,6
0-4/8	- " -	20	19,062	19,6885	122,869	122,898	0,029	0,909	16,2
Mittlere tägliche Zelluloseabbaurate an vier Standorten [mg/d]									
		1.Parallele	2. Parallele	3. Parallele	4. Parallele	5. Parallele	arith. Mittel der Stichprobe	Std.abw. der Stichprobe	Stichprobenumfang n
Primärwald	1. Zeitraum (März/April 2002)	13,7	14,0	17,2	17,5	8,5	14,2	3,6	5
	2. Zeitraum (April/Mai 2002)	11,2	0,0	0,0	0,0	0,0	2,2	5,0	5
	3. Zeitraum (März-Mai 2002)	6,2	3,7	2,8	5,7	5,4	4,8	1,4	5
Sekundärwald	1. Zeitraum (März/April 2002)	11,6	10,7	13,7	20,4	18,9	15,1	4,3	5
	2. Zeitraum (April/Mai 2002)	20,4	0,0	14,2	6,3	20,0	12,2	8,9	5
	3. Zeitraum (März-Mai 2002)	67,1	53,4	27,0	28,9	16,6	38,6	20,9	5
milpa (Bodenschutz)	1. Zeitraum (März/April 2002)	24,9	27,9	26,7	19,5	28,0	25,4	3,5	5
	2. Zeitraum (April/Mai 2002)	31,7	30,2	0,0	6,4	0,9	13,9	15,8	5
	3. Zeitraum (März-Mai 2002)	22,1	24,0	10,1	22,6	113,0	38,3	42,1	5
milpa (ohne Bodenschutz)	1. Zeitraum (März/April 2002)	23,1	12,2	26,6	27,5	28,8	23,6	6,7	5
	2. Zeitraum (April/Mai 2002)	3,4	28,3	0,0	(459,4)		10,6	15,5	3
	3. Zeitraum (März-Mai 2002)	37,3	9,5	12,6	16,2		18,9	12,6	4

Tabelle 62: Biologische Aktivität an verschiedenen Standorten

t-Test um zu ermitteln, ob die Unterschiede der Mittelwerte der einzelnen Flächen signifikant sind
 Varianzanalyse um Aussagen treffen zu können, mit welcher Wahrscheinlichkeit sich die Unterschiede auf die Nutzung zurückführen lassen

Vergleich von Mittelwerten mit dem t-Test				Vergleich von Mittelwerten aus Stichproben								
1. Zeitraum	Mittelwert Grundgesamtheit	tp	t (einseitig, 95%)	1. Zeitraum	s=gewogenes arithmetisches Mittel	tp	t (einseitig, 95%)	2. Zeitraum	s=gewogenes arithmetisches Mittel der Stichprobenstandardabweichungen [s]	tp	t (einseitig, 95%)	
Primärwald-Sekundärwald	14,6	0,272300677	2,132	Primärwald-Sekundärwald	3,991775535	0,350830661	1,86	Primärwald-Sekundärwald	6,942768882	2,264375752	1,86	signifikanter Unterschied
Primär-milpa(Schutz)	19,8	3,452069875	2,132	Primär-milpa(Schutz)	3,592144925	4,942431517	1,86	Primär-milpa(Schutz)	10,412056	1,763705279	1,86	kein signifikanter Unterschied
				Primär-milpa(ohne Bodenschutz)	5,179291732	2,887085062	1,86	Primär-milpa(ohne Bodenschutz)	99,18755696	1,811504542	1,9	kein signifikanter Unterschied
				sekundär-milpa(Bodenschutz)	3,947283614	4,142973914	1,86	sekundär-milpa(Bodenschutz)	12,35561576	0,201658796	1,86	kein signifikanter Unterschied
				sekundär-milpa(ohne Bodenschutz)	5,53443042	2,448782894	1,86	sekundär-milpa(ohne Bodenschutz)	101,4087681	1,625665874	1,9	kein signifikanter Unterschied
				milpa(bodenschutz)-milpa (ohne Bodenschutz)	5,134799811	0,545469074	1,86	milpa(bodenschutz)-milpa (ohne Bodenschutz)	105,3736677	1,540851321	1,9	kein signifikanter Unterschied

Tabelle 63: Statistische Auswertung der Daten zur biologischen Aktivität, Teil A

1. Zeitraum		Primärwald	Sekundärwald	milpa (Bodenschutz)	milpa (ohne Bodenschutz)	Vergleich von Mittelwerten aus Stichproben 3. Zeitraum	s=gewogenes arithmetisches Mittel	tp	t (einseitig, 95%)	
Primärwald	0					Primärwald- Sekundärwald	11,16565897	4,794115174	1,86	signifikanter Unterschied
Sekundärwald	0,9	0				Primär- milpa(Schutz)	21,76142077	2,44063029	1,86	signifikanter Unterschied
milpa (Bodenschutz)	11,2	10,3	0			Primär-milpa(ohne Bodenschutz)	6,209167749	3,398152217	1,9	signifikanter Unterschied
milpa (ohne Bodenschutz)	9,5	8,6	1,8	0		sekundär- milpa(Bodenschutz)	31,48832896	0,012511743	1,86	kein signifikanter Unterschied
die Werte stellen die Differenz der Mittelwerte dar, rot-unterstrichen: die Mittelwerte sind zu 95% signifikant verschieden)										
2. Zeitraum		Primärwald	Sekundärwald	milpa (Bodenschutz)	milpa (ohne Bodenschutz)	sekundär- milpa(ohne Bodenschutz)	17,32563424	1,695081212	1,9	kein signifikanter Unterschied
Primärwald	0					milpa(bodenschutz)- milpa (ohne Bodenschutz)	29,43507631	0,98434884	1,9	kein signifikanter Unterschied
Sekundärwald	9,9	0								
milpa (Bodenschutz)	11,6	1,7	0							
milpa (ohne Bodenschutz)	120,5	110,6	108,9	0						
die Werte stellen die Differenz der Mittelwerte dar, rot-unterstrichen: die Mittelwerte sind zu 95% signifikant verschieden)										
3. Zeitraum		Primärwald	Sekundärwald	milpa (Bodenschutz)	milpa (ohne Bodenschutz)					
Primärwald	0									
Sekundärwald	33,9	0								
milpa (Bodenschutz)	33,6	0,3	0							
milpa (ohne Bodenschutz)	14,2	19,7	19,4	0						
die Werte stellen die Differenz der Mittelwerte dar, rot-unterstrichen: die Mittelwerte sind zu 95% signifikant verschieden)										

Tabelle 64: Statistische Auswertung der Daten zur biologischen Aktivität, Teil B

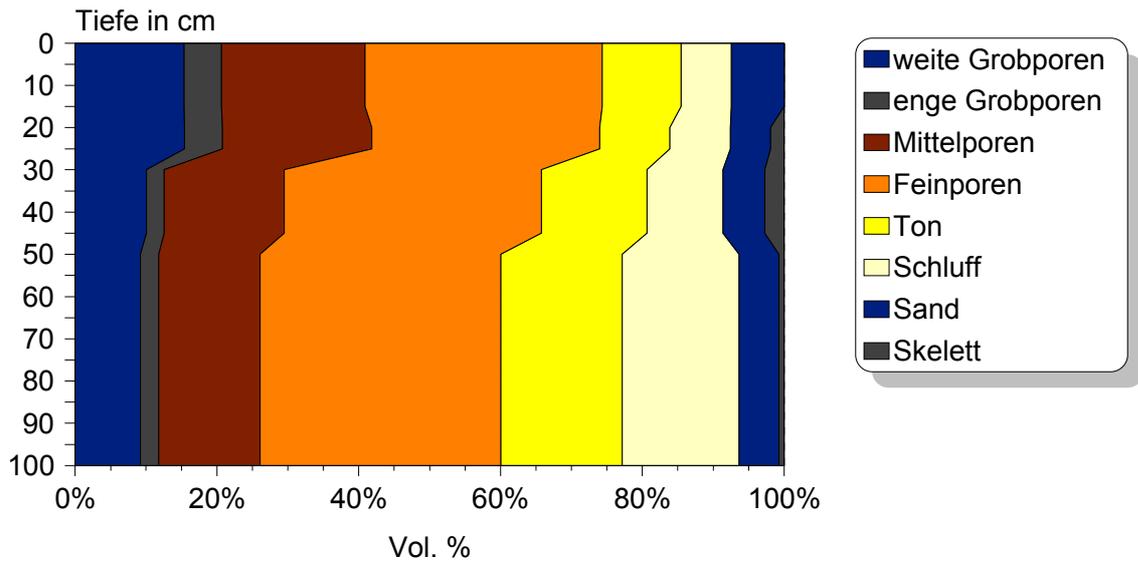


Abbildung 63: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 1, Primärer Bergnebelwald

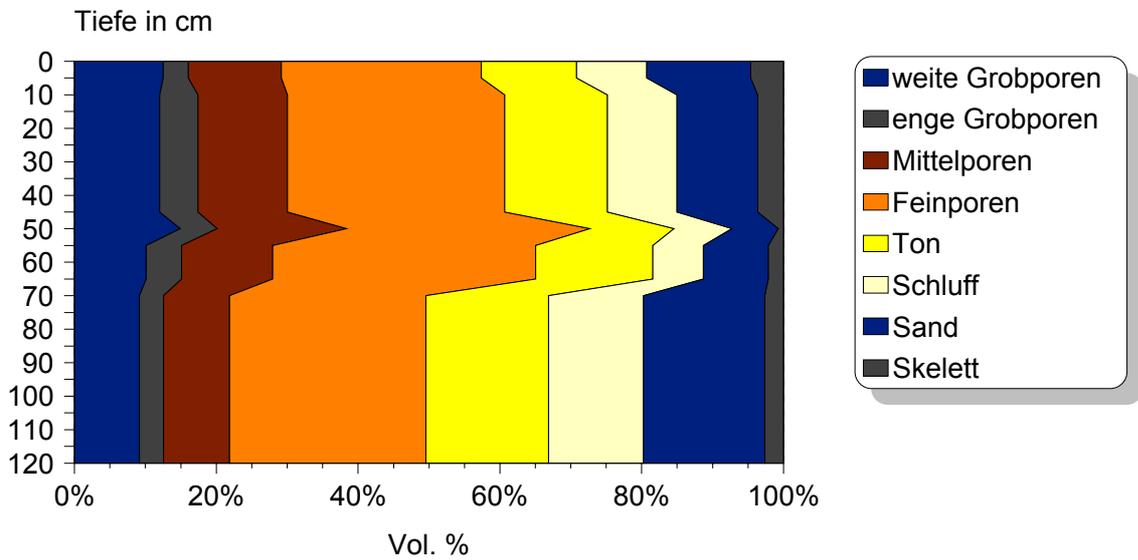


Abbildung 64: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 2, Guamil seit 2 Jahren

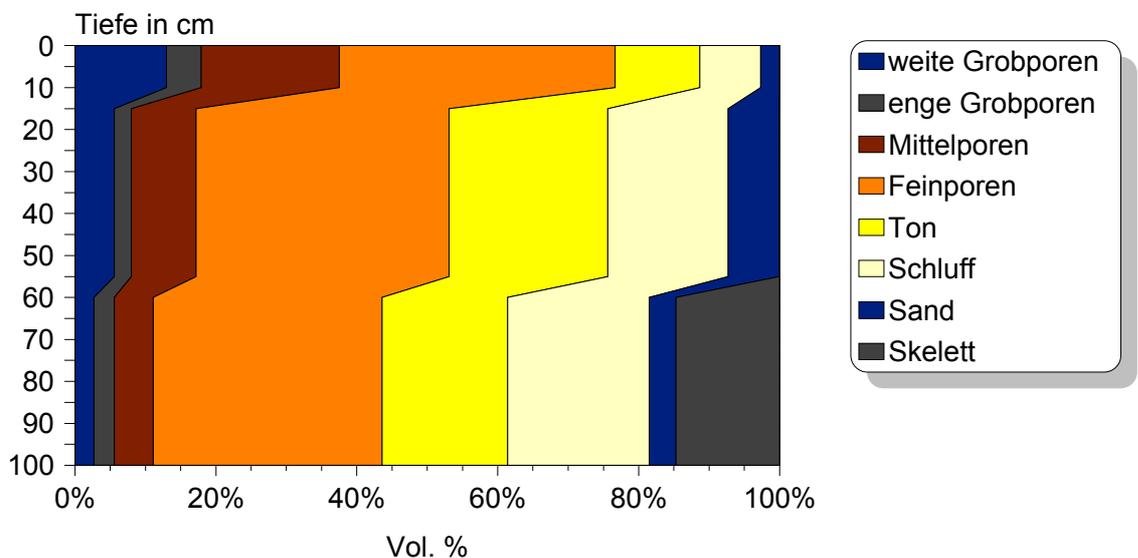


Abbildung 65: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 3, milpa 15 Jahre

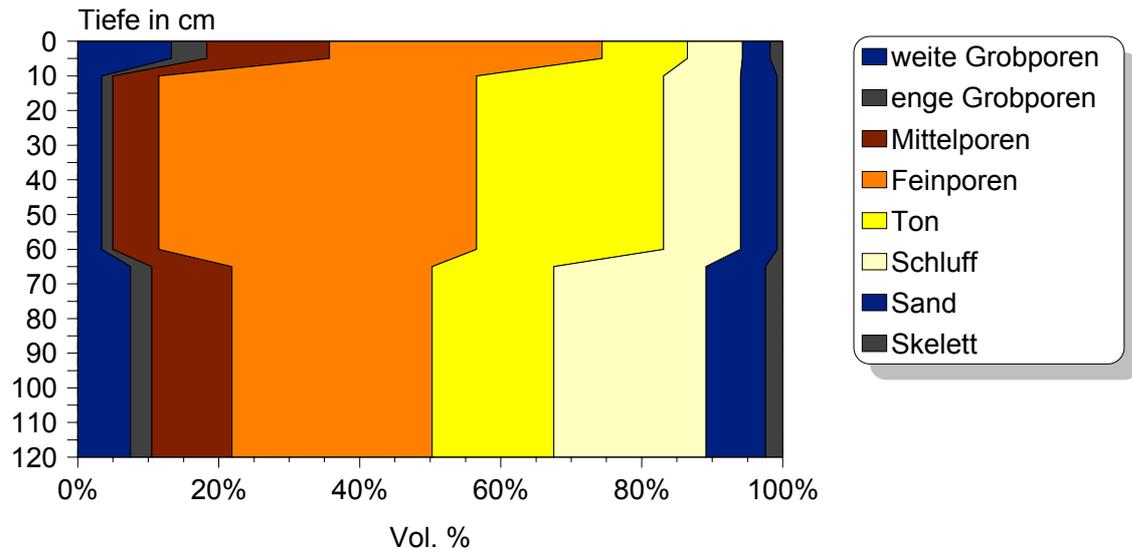


Abbildung 66: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 4, descanso

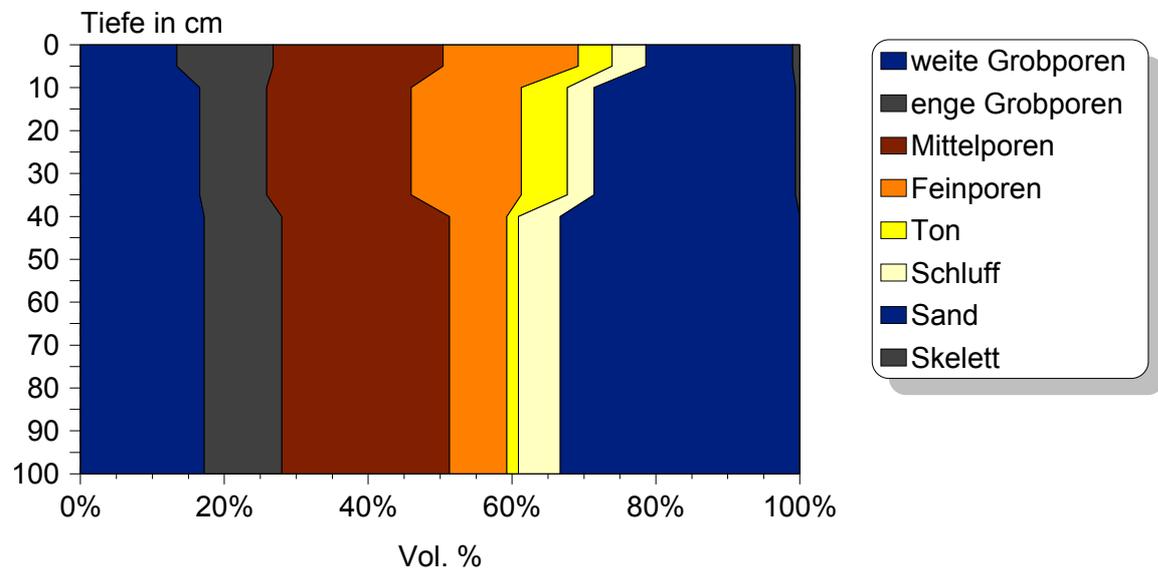


Abbildung 67: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 5, milpa 60 Jahre

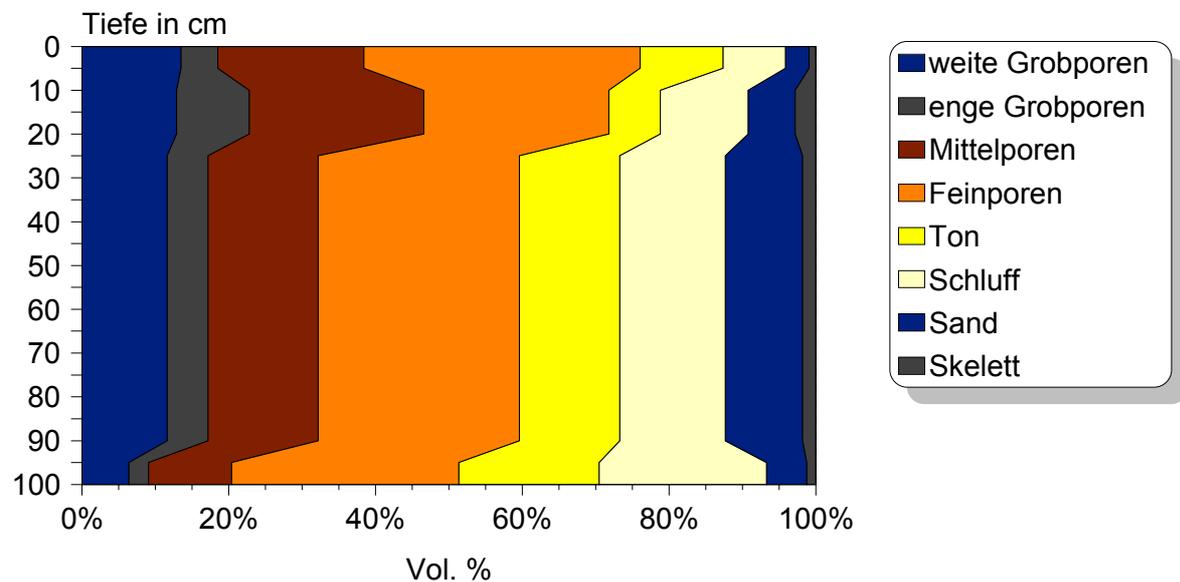


Abbildung 68: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 6, milpa 25 Jahre

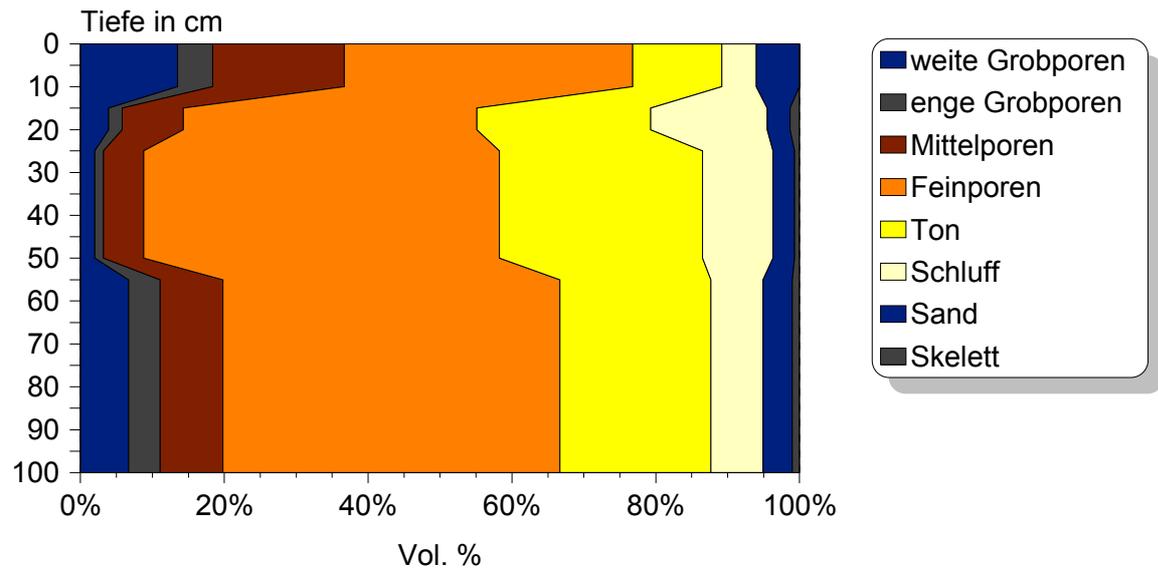


Abbildung 69: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 7, Primärer Bergnebelwald

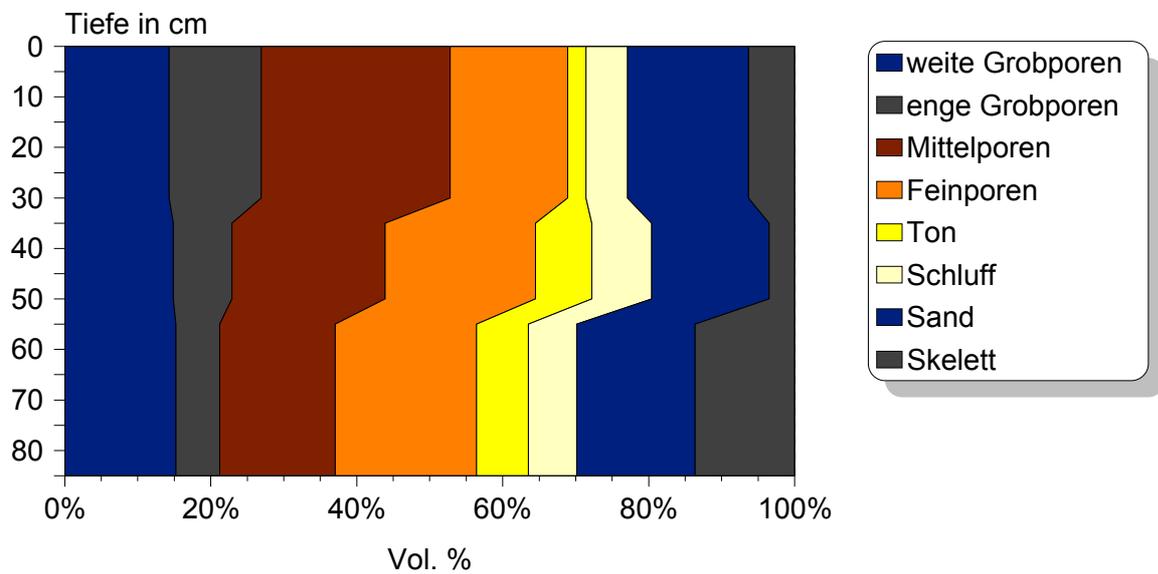


Abbildung 70: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 8, milpa 100 Jahre

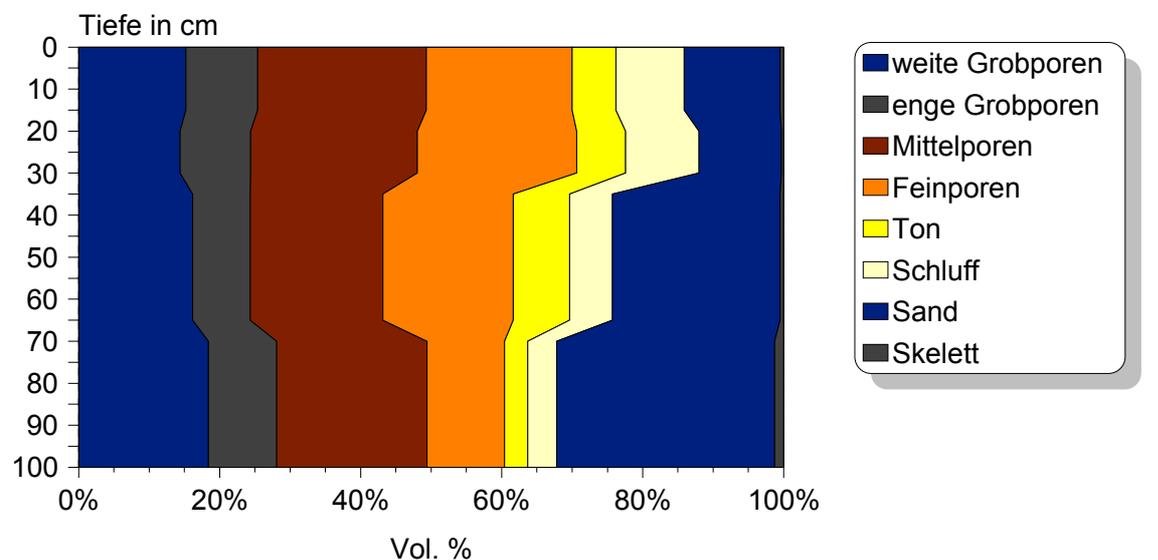


Abbildung 71: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 9, milpa 25 Jahre

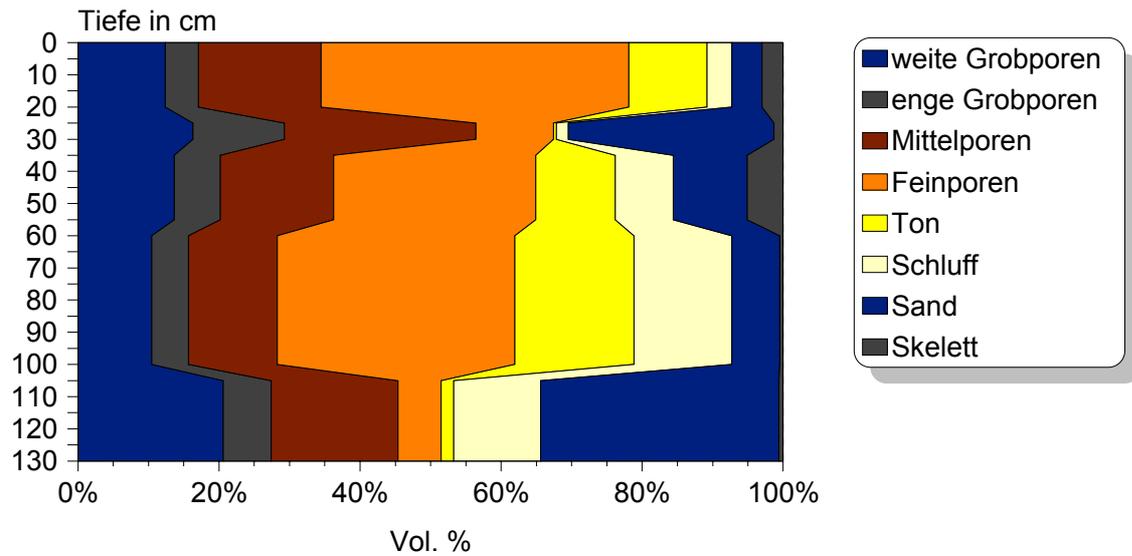


Abbildung 72: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 10, Primärer Bergnebelwald

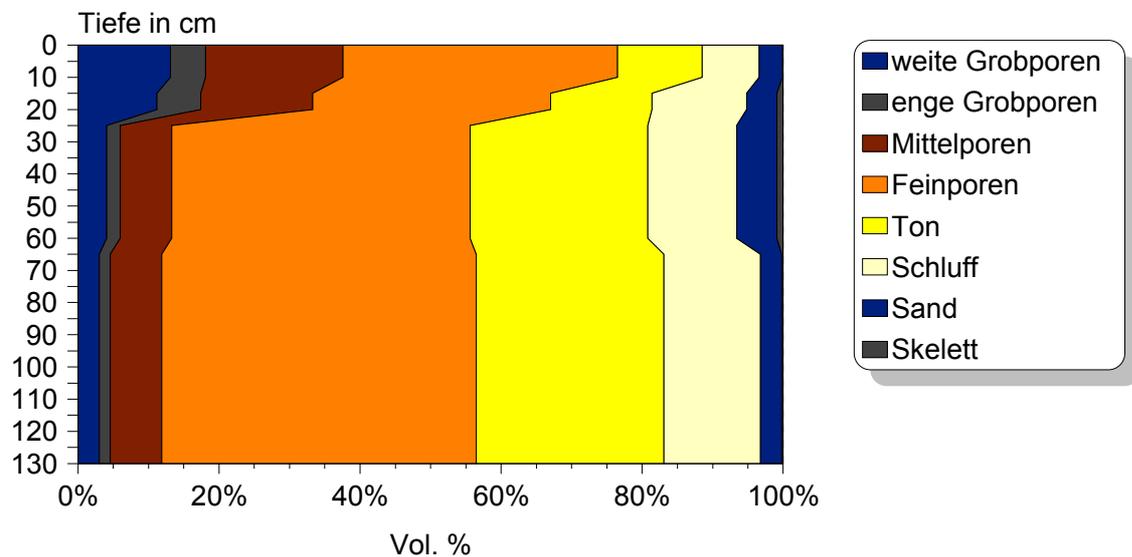


Abbildung 73: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 11, Sekundärwald

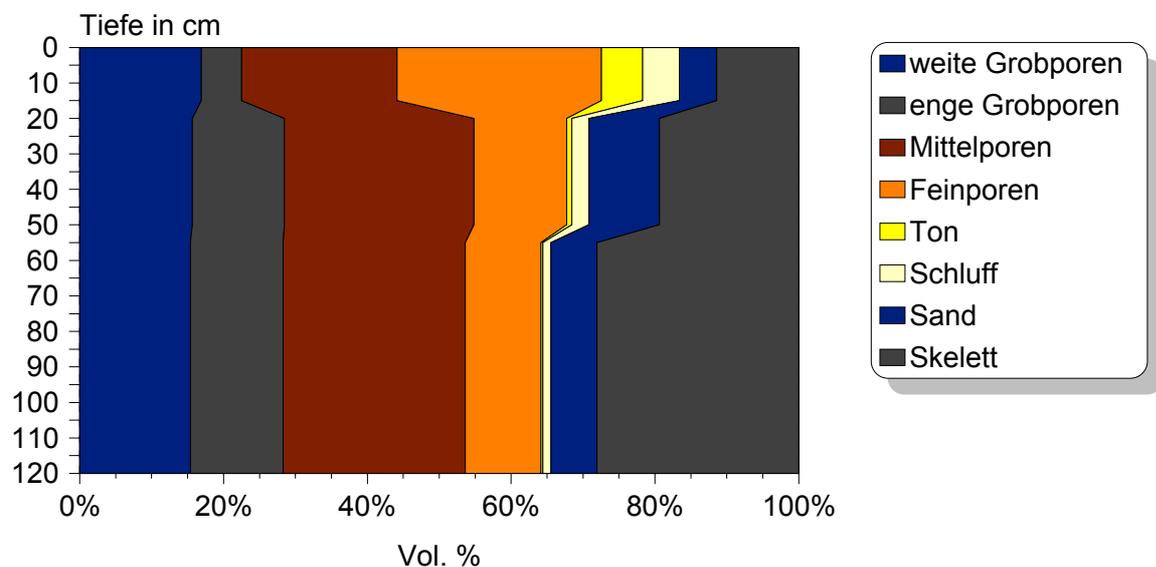


Abbildung 74: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 12, Sekundärwald 7 Jahre

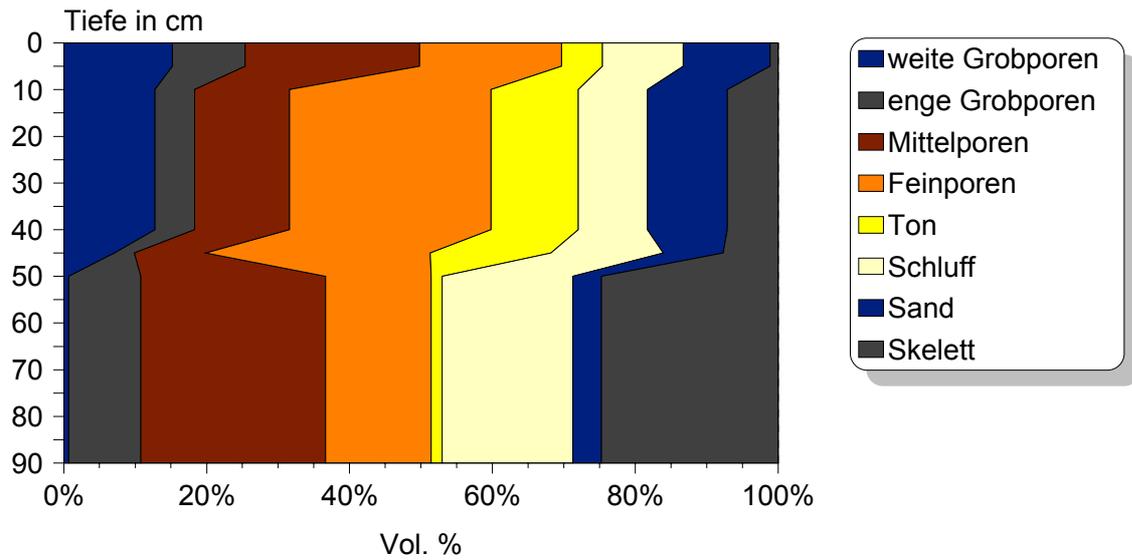


Abbildung 75: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 13, milpa

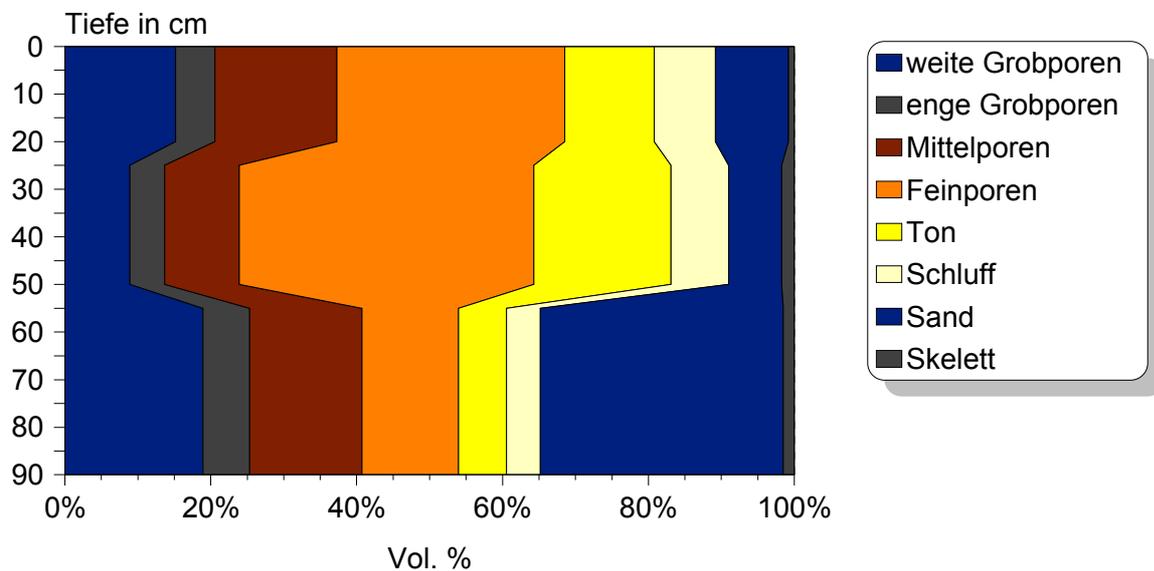


Abbildung 76: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 14, milpa

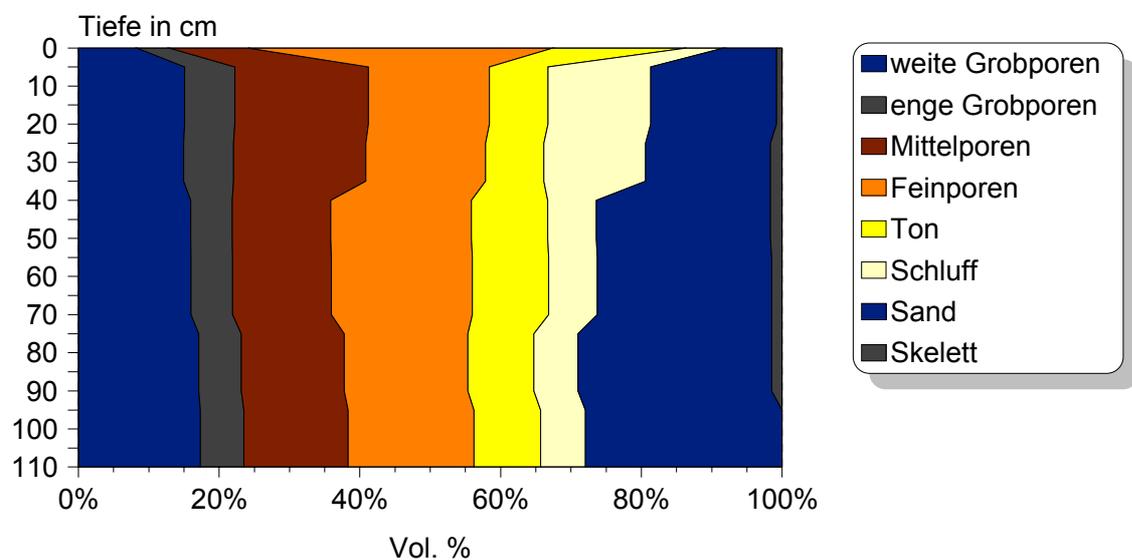


Abbildung 77: Poren- und Korngrößenverteilung des LP 15, milpa

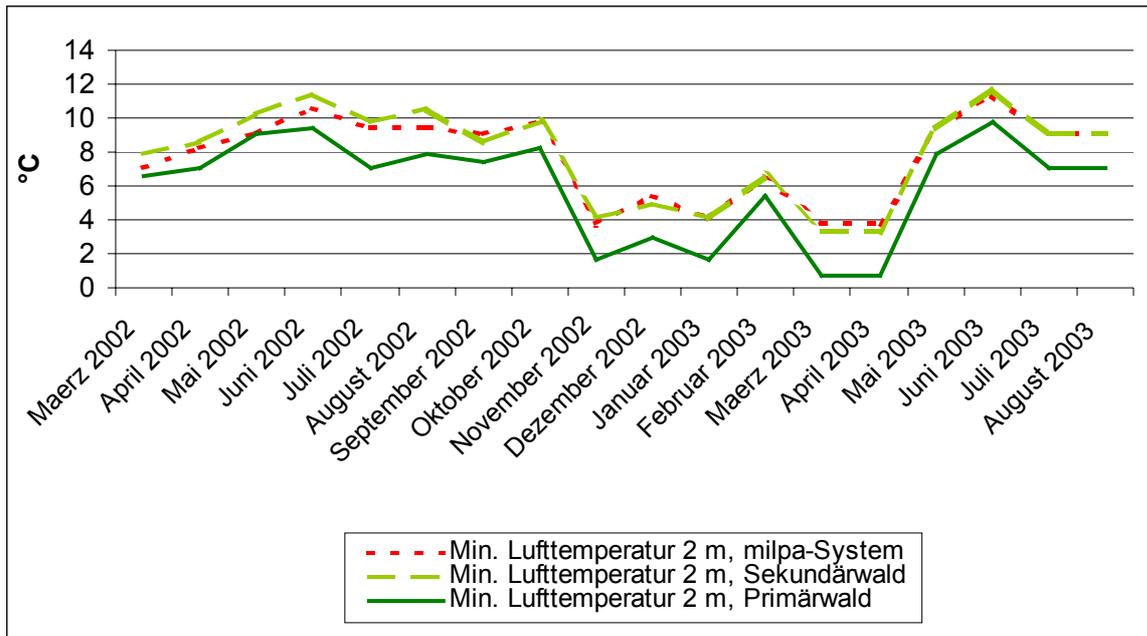


Abbildung 78: Minimale Lufttemperatur in 2 m Höhe, März 2002 bis August 2003

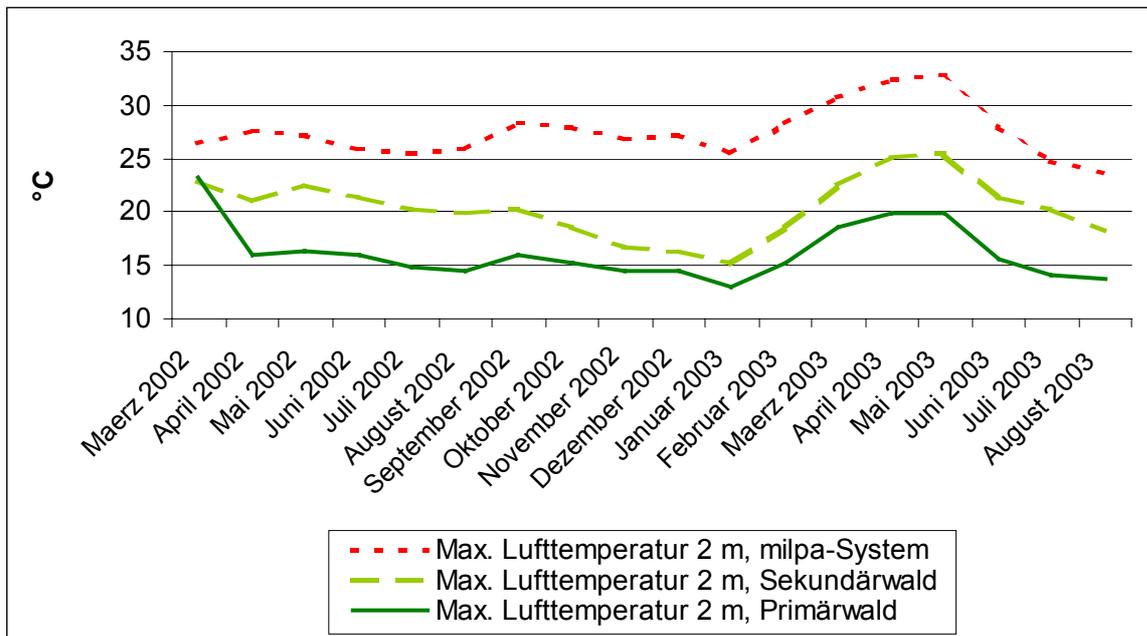


Abbildung 79: Maximale Lufttemperatur in 2 m Höhe, März 2002 bis August 2003

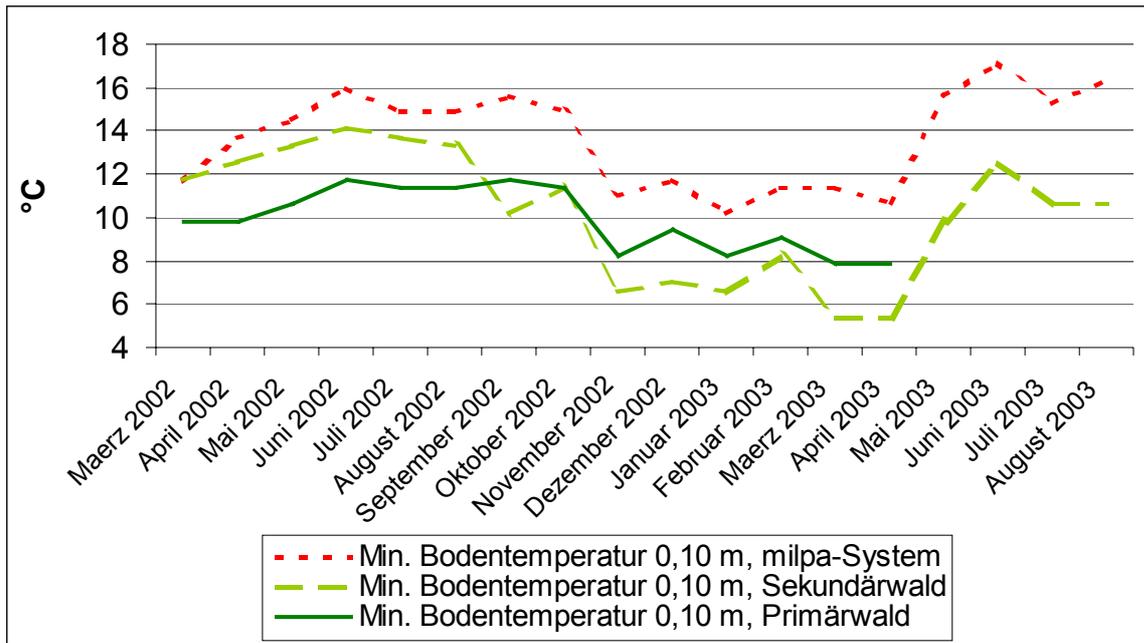


Abbildung 80: Minimale Bodentemperatur in 0,1 m Tiefe, März 2002 bis August 2003

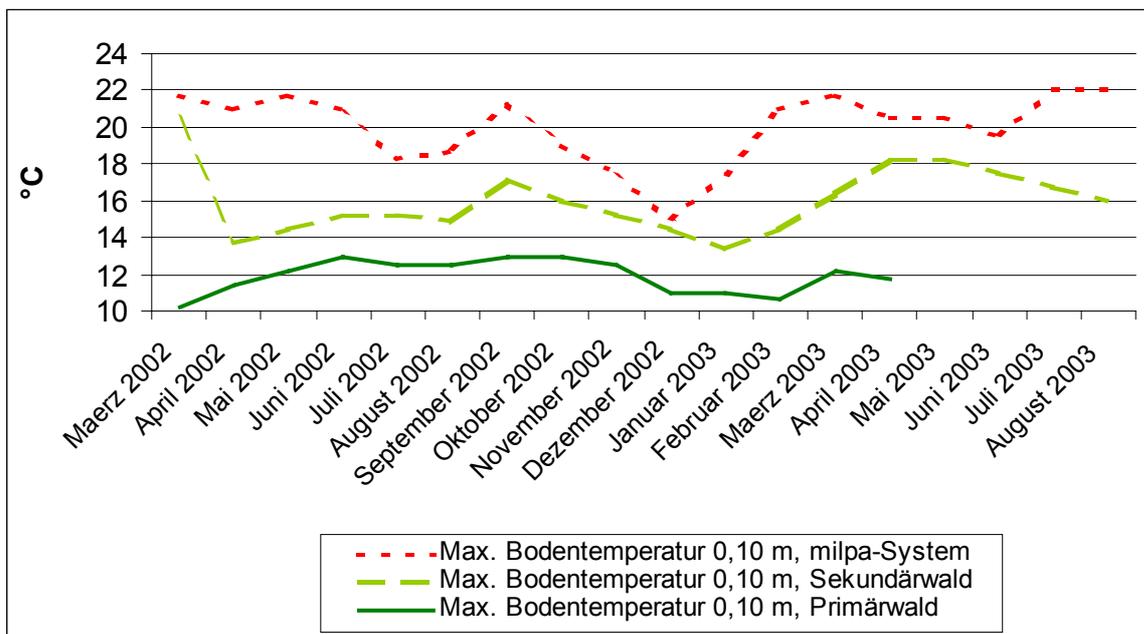


Abbildung 81: Maximale Bodentemperatur in 0,1 m Tiefe, März 2002 bis August 2003

Monat	Min. Lufttemperatur 0,5 m, milpa- System [°C]	Min. Lufttemperatur 2 m, milpa- System [°C]	Min. Bodentemperatur 0,10 m, milpa- System [°C]	Min. rel. Luftfeuchte, milpa-System [%]	Min. abs. Luftfeuchtigkeit, milpa-System [%]	Min. Taupunkt, milpa-System [°C]
März 2002	5,81	7,03	11,77	33,3	5,7	2,62
April 2002	7,03	8,23	13,7	29,9	4,9	0,88
Mai 2002	7,83	9,03	14,47	39,2	7,9	7,46
Juni 2002	10,6	10,6	16	51	9,6	10,42
Juli 2002	10,21	9,42	14,85	46,9	8,9	9,14
August 2002	9,82	9,42	14,85	42,2	7,5	6,63
September 02	8,63	9,03	15,62	46,9	6,8	5,29
Oktober 2002	9,03	9,82	14,85	46,9	8,7	8,9
November 2002	2,89	3,74	10,99	41,2	5,8	2,82
Dezember 2002	4,15	5,4	11,77	16,6	2,3	-9,31
Januar 2003	3,74	4,15	10,21	38,7	6	3,28
Februar 2003	6,22	6,62	11,38	9,1	2,2	-9,17
März 2003	3,74	3,74	11,38	9,8	1,7	-12,75
April 2003	2,89	3,74	10,6	15	4	-1,26
Mai 2003	8,63	9,42	15,62	13,8	4,5	0,61
Juni 2003	10,6	11,38	17,14	49,4	9,6	10,72
Juli 2003	7,83	9,03	15,23	30,4	6,5	5,24
August 2003	9,03	9,03	16,38	41,7	7,3	6,77

Tabelle 65: Klimatische Minimumdaten im *milpa*-System

Monat	Max. Lufttemperatur 0,5 m, milpa- System [°C]	Max. Lufttemperatur 2 m, milpa- System [°C]	Max. Bodentemperatur 0,10 m, milpa- System [°C]	Max. rel. Luftfeuchte, milpa-System [%]	Max. abs. Luftfeuchtigkeit, milpa-System [%]	Max. Taupunkt, milpa-System [°C]
März 2002	28,7	26,34	21,71	99,8	14,5	17,23
April 2002	29,5	27,52	20,95	99,5	14,6	17,27
Mai 2002	28,31	27,12	21,71	99,8	15,3	18,15
Juni 2002	27,52	25,95	20,95	100	15,7	18,65
Juli 2002	22,09	25,56	18,28	100	15,7	18,65
August 2002	23,63	25,95	18,66	100	15,8	18,72
September 2002	29,5	28,31	21,33	100	18	21,06
Oktober 2002	30,71	27,91	19,04	100	16,6	19,59
November 02	28,7	26,73	17,52	100	15,1	17,99
Dezember 02	26,73	27,12	14,85	100	16,2	19,13
Januar 2003	26,73	25,56	17,52	100	13,8	16,64
Februar 2003	30,31	28,31	20,95	100	14,1	16,85
März 2003	32,34	30,71	21,71	100	14,6	17,56
April 2003	32,34	32,34	20,57	100	16,2	19,09
Mai 2003	32,34	32,76	20,57	100	15,3	18,24
Juni 2003	29,5	27,91	19,42	100	16,5	19,47
Juli 2003	27,91	24,79	22,09	100	15,2	18,05
August 2003	24,01	23,63	22,09	100	14,8	17,55

Tabelle 66: Klimatische Maximumdaten im *milpa*-System

Monat	Mittlere Lufttemperatur 0,5 m, milpa- System [°C]	Mittlere Lufttemperatur 2 m, milpa- System [°C]	Mittlere Bodentemperatur 0,10 m, milpa- System [°C]	mittlere rel. Luftfeuchte, milpa-System [%]	mittlere abs. Luftfeuchtigkeit, milpa-System [%]	mittlerer Taupunkt, milpa-System [°C]
März 2002	14,8	14,6	15,7	81,5	10,0	11,1
April 2002	15,0	14,8	16,8	80,6	10,0	11,1
Mai 2002	15,3	15,3	17,3	89,5	11,6	13,4
Juni 2002	16,1	16,5	17,7	89,8	12,5	14,6
Juli 2002	14,9	15,5	16,5	91,9	12,1	14,1
August 2002	15,0	15,6	16,5	89,2	11,7	13,6
September 02	16,5	16,9	18,1	88,3	12,5	14,7
Oktober 2002	15,3	15,4	16,5	91,0	11,9	13,8
November 02	13,6	13,5	14,7	91,5	10,7	11,9
Dezember 02	13,3	13,5	13,6	90,7	10,6	11,8
Januar 2003	11,4	11,4	13,7	95,1	9,7	10,5
Februar 2003	14,0	14,0	15,7	86,1	10,1	11,2
März 2003	16,0	16,1	17,1	77,6	10,2	11,1
April 2003	16,4	16,6	16,7	78,3	10,6	11,9
Mai 2003	16,8	17,0	17,9	83,0	11,7	13,6
Juni 2003	17,1	17,1	18,3	89,0	12,8	15,1
Juli 2003	15,1	15,3	17,7	92,2	12,0	13,9
August 2003	15,7	15,8	19,2	87,9	11,7	13,6

Tabelle 67: Klimatische Mittelwerte im *milpa*-System

Monat	Min. Lufttemperatur [°C], 0,5 m, Sekundärwald	Min. Lufttemperatur [°C], 2 m, Sekundärwald	Min. Bodentemperatur [°C], 0,10 m, Sekundärwald	Min. rel. Luftfeuchte, Sekundärwald [%]	Min. abs. Luftfeuchtigkeit, Sekundärwald [%]	Min. Taupunkt, Sekundärwald, [°C]
März 2002	7,03	7,83	11,77	54,2	6,4	4,33
April 2002	8,23	8,63	12,55	44,9	4,8	0,56
Mai 2002	10,21	10,21	13,32	54,8	8,7	8,93
Juni 2002	11,38	11,38	14,09	66,1	10,2	11,38
Juli 2002	10,21	9,82	13,7	76,1	9,2	9,71
August 2002	10,21	10,6	13,32	65,1	8,2	7,94
September 02	8,63	8,63	10,21	76,1	8	7,5
Oktober 2002	10,21	9,82	11,38	83,6	8,9	9,26
November 02	4,57	4,15	6,62	81,3	6,3	3,95
Dezember 02	5,4	4,99	7,03	78	6,2	3,64
Januar 2003	4,57	4,15	6,62	77,5	6,4	4,11
Februar 2003	6,62	6,62	8,23	40,8	5,2	1,67
März 2003	3,74	3,31	5,4	25,3	3,7	-2,92
April 2003	3,74	3,31	5,4	30	5,1	1,5
Mai 2003	9,42	9,42	9,82	26,2	5,9	3,52
Juni 2003	11,77	11,77	12,55	68,7	9,7	10,74
Juli 2003	9,03	9,03	10,6	53,7	8,1	8,01
August 2003	9,42	9,03	10,6	74,6	8,7	8,88

Tabelle 68: Klimatische Minimumdaten im *Sekundärwald*

Monat	Max. Lufttemperatur [°C], 0,5 m, Sekundärwald	Max. Lufttemperatur [°C], 2 m, Sekundärwald	Max. Bodentemperatur [°C], 0,10 m, Sekundärwald	Max. rel. Luftfeuchte, Sekundärwald [%]	Max. abs. Luftfeuchtigkeit, Sekundärwald [%]	Max. Taupunkt, Sekundärwald, [°C]
März 2002	20,19	22,86	20,57	100	13,5	16,03
April 2002	20,95	20,95	13,7	98,6	13,7	16,31
Mai 2002	22,48	22,48	14,47	100	14,7	17,33
Juni 2002	20,57	21,33	15,23	100	15,8	18,57
Juli 2002	19,81	20,19	15,23	100	15,6	18,36
August 2002	19,04	19,81	14,85	100	14,5	17,07
September 02	19,81	20,19	17,14	100	16,1	18,85
Oktober 2002	18,28	18,66	16	100	15,1	17,78
November 02	16	16,76	15,23	100	13,6	16
Dezember 02	16	16,38	14,47	100	13,7	16,11
Januar 2003	14,85	15,23	13,32	100	12,9	15,08
Februar 2003	17,52	18,66	14,47	100	13,5	15,93
März 2003	21,33	22,48	16,38	100	14,8	17,47
April 2003	24,01	25,17	18,28	100	15,9	18,74
Mai 2003	24,79	25,56	18,28	100	15,4	18,16
Juni 2003	20,57	21,33	17,52	100	15,9	18,6
Juli 2003	19,04	20,19	16,76	100	14,4	17,01
August 2003	17,9	18,28	16	100	14,4	17,01

Tabelle 69: Klimatische Maximumdaten im *Sekundärwald*

Monat	Mittlere Lufttemperatur [°C], 0,5 m, Sekundärwald	Mittlere Lufttemperatur [°C], 2 m, Sekundärwald	Mittlere Bodentemperatur [°C], 0,10 m, Sekundärwald	mittlere rel. Luftfeuchte, Sekundärwald [%]	mittlere abs. Luftfeuchtigkeit, Sekundärwald [%]	mittlerer Taupunkt, Sekundärwald, [°C]
März 2002	13,1	13,4	13,3	87,6	10,2	11,3
April 2002	13,3	13,6	13,1	86,7	10,2	11,3
Mai 2002	14,1	14,3	13,8	94,7	11,6	13,4
Juni 2002	15,0	15,1	14,8	96,6	12,5	14,6
Juli 2002	14,0	14,1	14,7	98,1	12,0	13,8
August 2002	13,9	14,0	14,4	96,6	11,7	13,4
September 02	14,7	14,8	14,8	97,7	12,4	14,4
Oktober 2002	13,6	13,6	14,0	99,1	11,7	13,4
November 02	11,8	11,8	12,3	99,2	10,5	11,7
Dezember 02	11,7	11,7	12,0	99,0	10,4	11,6
Januar 2003	10,1	10,0	10,7	99,7	9,4	10,0
Februar 2003	11,7	11,9	11,7	96,3	10,2	11,3
März 2003	13,4	13,7	12,7	89,4	10,6	11,7
April 2003	14,4	14,7	13,3	87,2	10,9	12,3
Mai 2003	15,3	15,6	14,6	89,4	11,8	13,6
Juni 2003	15,3	15,4	15,4	96,4	12,7	14,8
Juli 2003	13,8	13,9	14,3	97,9	11,7	13,5
August 2003	13,7	13,8	14,1	97,6	11,6	13,4

Tabelle 70: Klimatische Mittelwerte im *Sekundärwald*

Monat	Min. Lufttemperatur [°C], 0,5 m, Primärwald	Min. Lufttemperatur [°C], 2 m, Primärwald	Min. Bodentemperatur [°C], 0,10 m, Primärwald	Min. rel. Luftfeuchte, Primärwald [%]	Min. abs. Luftfeuchtigkeit, Primärwald [%]	Min. Taupunkt, Primärwald [°C]
März 2002	5,81	6,62	9,82	27,6	2,8	-6,64
April 2002	6,22	7,03	9,82	43,4	3,6	-3,46
Mai 2002	8,23	9,03	10,6	54,8	5,5	2,26
Juni 2002	9,42	9,42	11,77	85	8,5	8,57
Juli 2002	7,03	7,03	11,38	88,1	7,6	6,74
August 2002	7,83	7,83	11,38	74,1	7,2	6,02
September 02	7,03	7,43	11,77	59,9	5,2	1,29
Oktober 2002	8,23	8,23	11,38	84,1	7,5	6,66
November 02	1,6	1,6	8,23	74,1	5,4	1,6
Dezember 02	2,89	2,89	9,42	27,1	2	-11,32
Januar 2003	2,03	1,6	8,23	59,9	4,9	0,2
Februar 2003	5,4	5,4	9,03	8,8	1	-19,11
März 2003	1,17	0,73	7,83	14,6	1,7	-12,76
April 2003	0,73	0,73	7,83	13,5	1,5	-14,94
Mai 2003		7,83		32,4	3,7	-3,24
Juni 2003		9,82		79	8,1	7,8
Juli 2003		7,03		56,3	5,9	3,11
August 2003		7,03		82,3	6,7	4,99

Tabelle 71: Klimatische Minimumdaten im *Primärwald*

Monat	Max. Lufttemperatur [°C], 0,5 m, Primärwald	Max. Lufttemperatur [°C], 2 m, Primärwald	Max. Bodentemperatur [°C], 0,10 m, Primärwald	Max. rel. Luftfeuchte, Primärwald [%]	Max. abs. Luftfeuchtigkeit, Primärwald [%]	Max. Taupunkt, Primärwald, [°C]
März 2002	15,23	23,24	10,21	100	12,9	15,32
April 2002	16	16	11,38	100	12,3	14,42
Mai 2002	16,38	16,38	12,16	100	12,8	15,07
Juni 2002	15,23	16	12,93	100	13,4	15,73
Juli 2002	14,85	14,85	12,55	100	12,7	14,85
August 2002	14,47	14,47	12,55	100	12	13,98
September 02	16	16	12,93	100	13,6	16
Oktober 2002	14,85	15,23	12,93	100	13	15,23
November 02	14,85	14,47	12,55	100	12,1	14,14
Dezember 02	14,47	14,47	10,99	100	12	13,98
Januar 2003	12,93	12,93	10,99	100	11,3	12,93
Februar 2003	15,23	15,23	10,6	100	11,8	13,7
März 2003	18,66	18,66	12,16	100	12,8	15,04
April 2003	16,76	19,81	11,77	100	13,3	15,66
Mai 2003		19,81		100	13,3	15,66
Juni 2003		15,62		100	13	15,23
Juli 2003		14,09		100	12,1	14,04
August 2003		13,7		100	11,8	13,7

Tabelle 72: Klimatische Maximumdaten im *Primärwald*

Monat	Mittlere Lufttemperatur [°C], 0,5 m, Primärwald	Mittlere Lufttemperatur [°C], 2 m, Primärwald	Mittlere Bodentemperatur [°C], 0,10 m, Primärwald	mittlere rel. Luftfeuchte, Primärwald [%]	mittlere abs. Luftfeuchtigkeit, Primärwald [%]	mittlerer Taupunkt, Primärwald, [°C]
März 2002	10,0	11,7	9,8	88,8	9,3	9,7
April 2002	10,5	10,7	10,3	93,3	9,2	9,6
Mai 2002	11,6	11,7	11,3	98,0	10,3	11,3
Juni 2002	12,3	12,4	12,3	99,4	10,9	12,3
Juli 2002	11,5	11,5	12,1	99,9	10,3	11,5
August 2002	11,3	11,3	11,9	99,5	10,2	11,2
September 02	12,2	12,3	12,6	99,5	10,8	12,2
Oktober 2002	11,3	11,3	12,1	99,8	10,2	11,3
November 02	9,7	9,7	11,0	99,5	9,2	9,6
Dezember 02	9,8	9,8	10,4	98,3	9,2	9,5
Januar 2003	7,9	7,9	9,3	99,1	8,2	7,7
Februar 2003	9,8	9,8	9,8	94,4	8,7	8,7
März 2003	11,4	11,4	10,9	86,6	8,8	8,7
April 2003	10,8	12,1	10,4	84,7	9,0	9,1
Mai 2003		12,8		88,7	9,9	10,8
Juni 2003		12,5		98,2	10,8	12,2
Juli 2003		11,1		99,0	10,0	10,9
August 2003		11,0		99,5	10,0	10,9

Tabelle 73: Klimatische Mittelwerte im *Primärwald*



Foto 7: Ausschnitt der Region Reserva Privada Chelemhá, Luftbild vom 23. Januar 1964
(Quelle: Instituto Geográfico Nacional Guatemala, VV Hurd M-6 AMS1-23-64 AID2 1022)

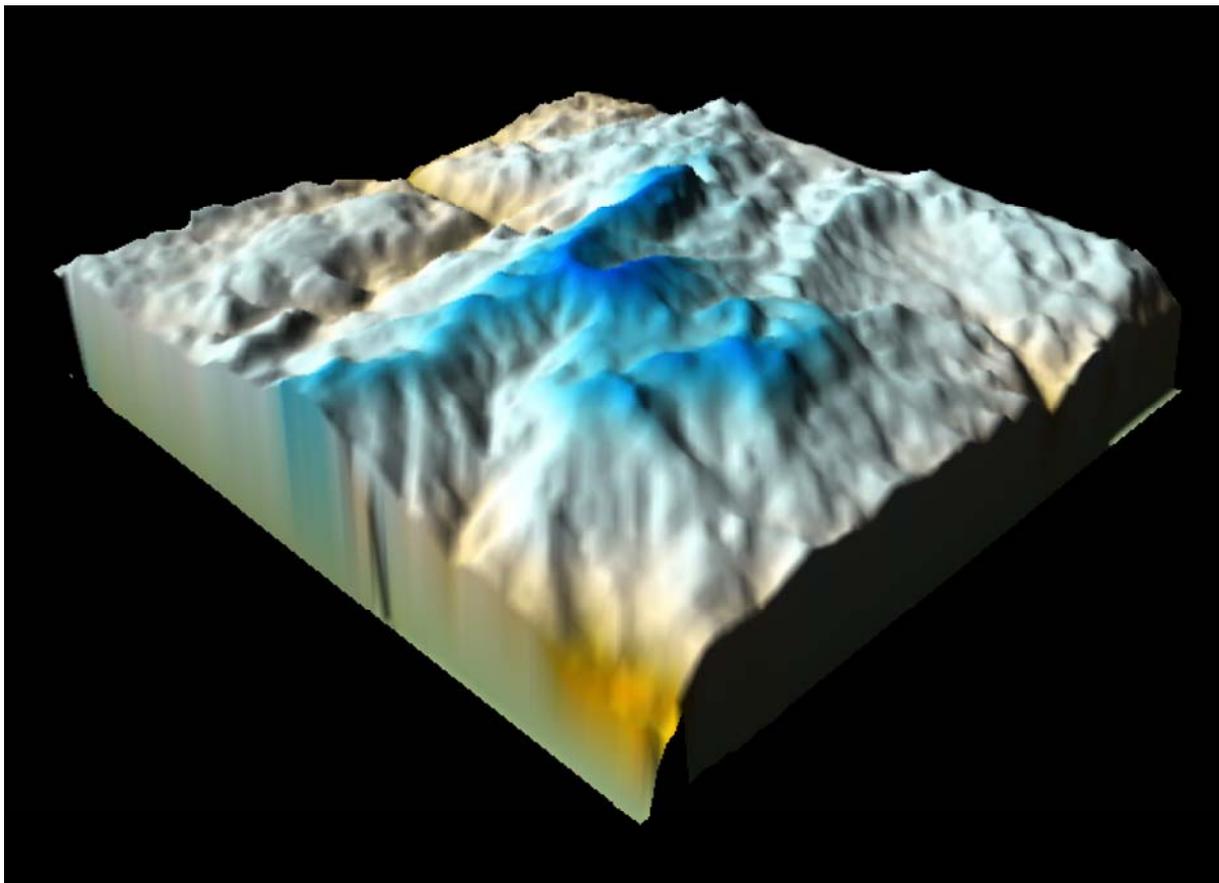


Abbildung 82: Dreidimensionale Darstellung des Untersuchungsgebietes der Sierra Yalijux mit Blick nach Nordosten.

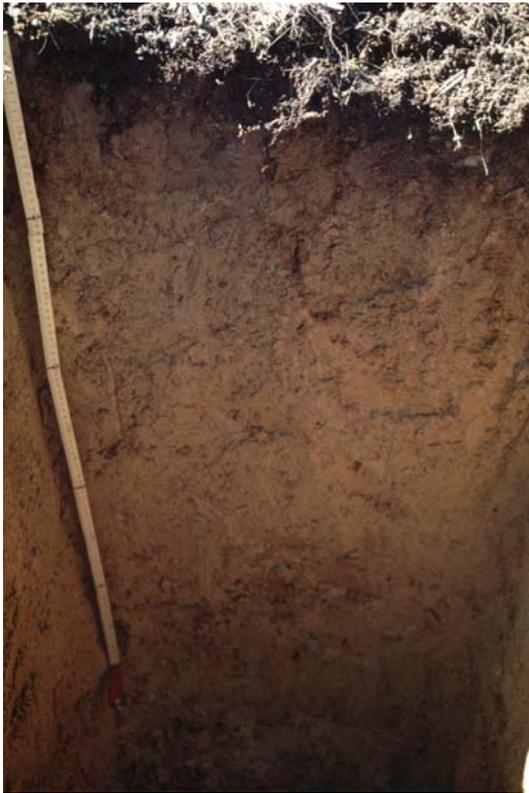


Foto 8: Leitprofil 6, vor 25 Jahren gerodet, 10- bis 15-jährige Nutzung ohne Brache



Foto 9: Leitprofil 8, vor über 100 Jahren gerodet, seit 10 Jahren mit Bodenschutzmaßnahmen



Foto 10: Jährliche Brandrodung im Rahmen des *milpa*-Anbausystems (Chelemhá) (März 2002)



Foto 11: Traditionelle Maissaat in Chelelhá (April 2002)

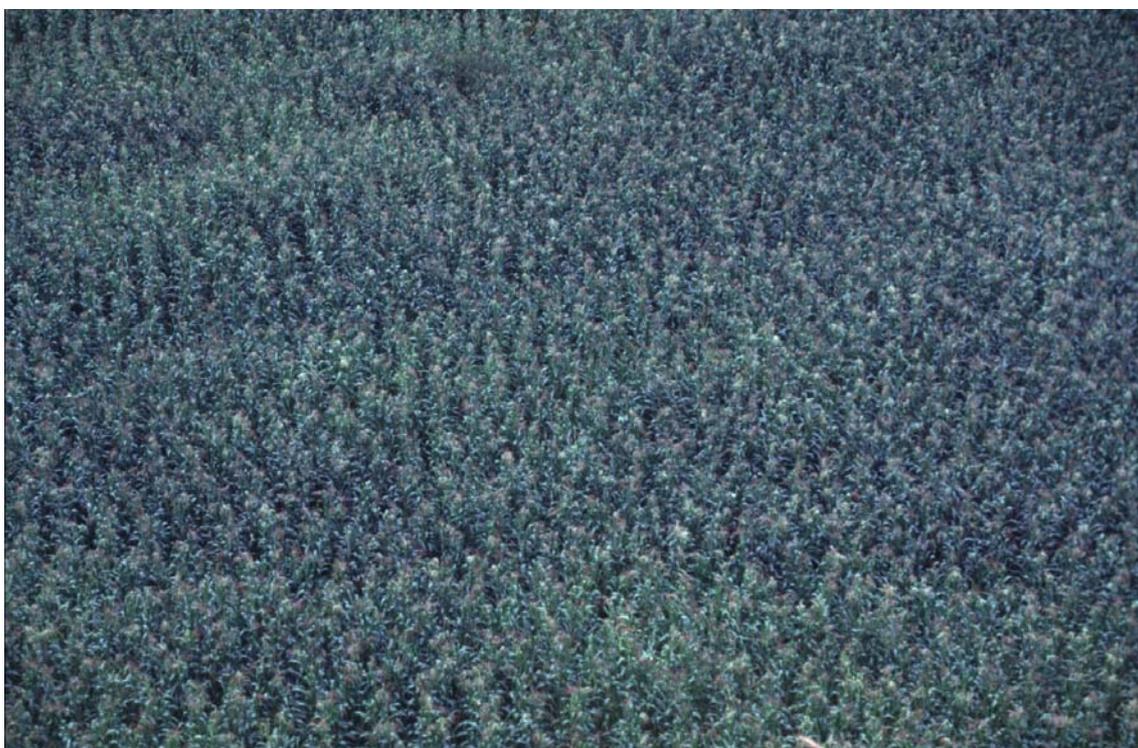
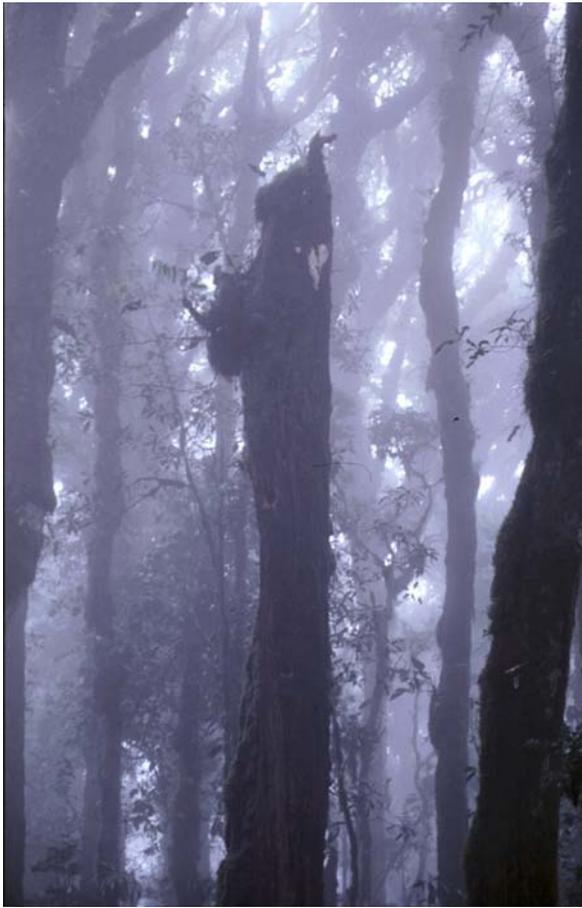


Foto 12: Mais als Lebensgrundlage für die Maya-Q'eqchi-Bevölkerung (September 2001)



Fototafel 1: Fauna in der Sierra Yalijux. Die Bergnebelwälder liefern für zahlreiche faunistische Gruppen deren Lebensräume.



Fototafel 2: Primärvegetation in den Bergnebelwaldregionen der Sierra Yalijux und unten links: Arrayan (*Myrica cerifera*) als alternative Einkommensquelle für die Herstellung von Naturkerzen

LEBENS LAUF

Name: Michael Markussen
Geburtsdatum: 21. Juli 1973
Staatsangehörigkeit: Deutsch
Geburtsort: Niebüll/Nordfriesland
Familienstand: verheiratet
Anschrift: Kreuzberggring 43, D-37075 Göttingen
Telefon: 0551 - 305 6 304
e-Mail: mmarkus@gwdg.de

Schulbildung:

08/79 – 07/83 Grundschule Risum/Nordfriesland
08/83 – 05/92 Friedrich-Paulsen-Schule, Gymnasium, Niebüll/Nordfriesland
23. Mai 1992 Allgemeine Hochschulreife

Zivildienst:

06/92 – 08/93 Zivildienst bei der Selbsthilfe Körperbehinderter Göttingen e.V.
09/93 Hauptamtlicher Mitarbeiter bei der Selbsthilfe Körperbehinderter Göttingen e.V.

Studium:

10/93 – 09/95 **Grundstudium Geographie** (Dipl.), Georg-August-Universität Göttingen mit Nebenfächern **Geologie** und **Bodenkunde**
10/95 – 05/00 **Hauptstudium Geographie** (Dipl.), Georg-August-Universität Göttingen mit Nebenfächern **Naturschutz** und **Bioklimatologie**
05. Mai 2000 Hochschulgrad **Diplom-Geograph**

Beruf

06/00 – 09/00 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungs- und Studienzentrum der Agrar- und Forstwissenschaften der Tropen und Subtropen (**Tropenzentrum**) mit Aufenthalt in **Indonesien**

Promotion:

Seit Oktober 2000 in der Abteilung Landschaftsökologie am Geographischen Institut der Georg-August-Universität Göttingen im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs 642/1 „*Wertschätzung und Erhaltung von Biodiversität – Umsetzung von Naturschutzstrategien im Rahmen des Übereinkommens über die biologische Vielfalt*“ mit dem Dissertationsthema:

„Waldkonversion und Bodendegradation in Bergnebelwaldgebieten Guatemalas (Alta Verapaz)

Ein Beitrag zur Biodiversitätsforschung in sensiblen tropischen Ökosystemen“