

3. Material und Methoden

3.1 Untersuchungsgebiet und -material

3.11 Untersuchungsgebiet

3.111 Lage

Der Ortsteil Weende der südniedersächsischen Stadt Göttingen bildet das Untersuchungsgebiet. Es umfaßt eine Größe von ca. 2,5 km². Die Abbildung 3.1 zeigt die Lage des Untersuchungsgebietes.

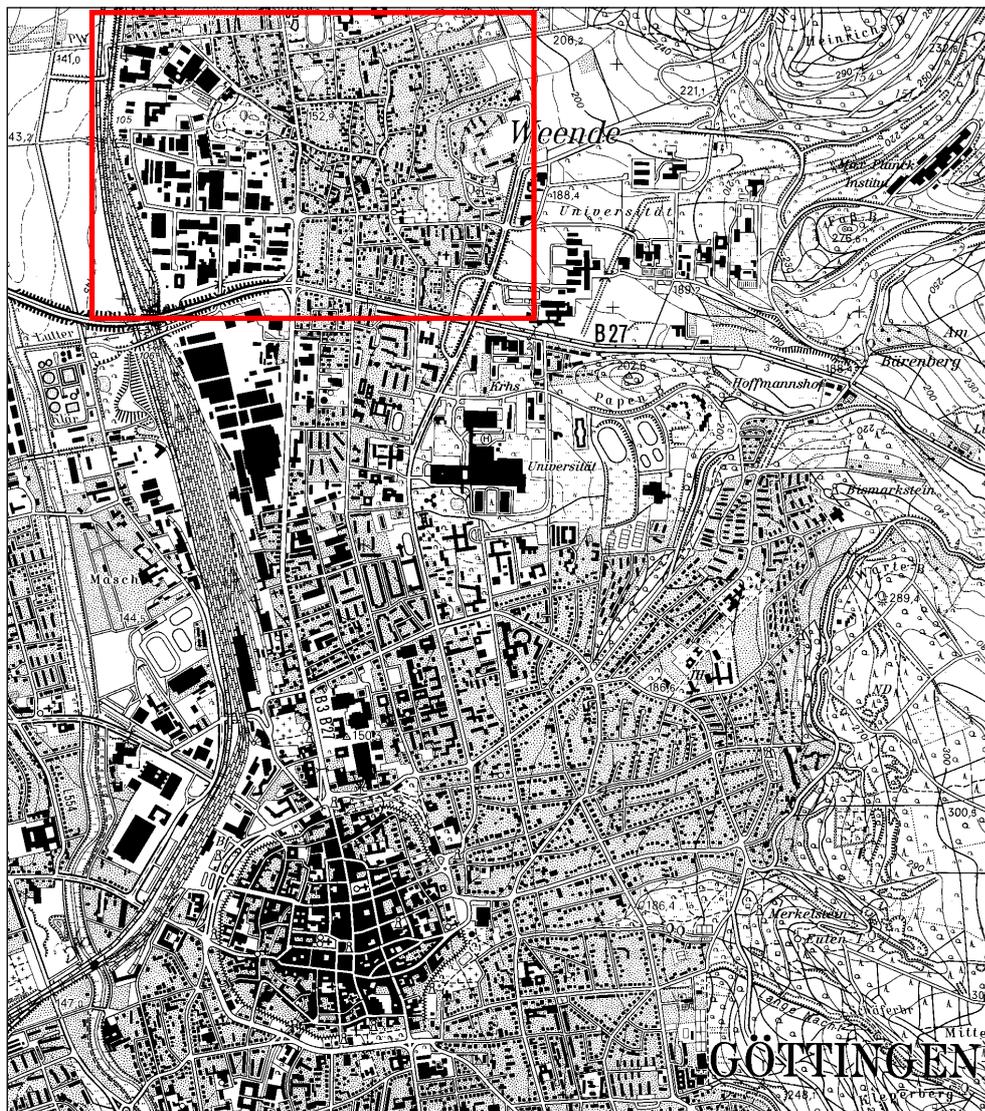


Abbildung 3.1: Lage des Untersuchungsgebietes (Ausschnitt aus der TK 25)

Das Untersuchungsgebiet liegt nördlich vom Göttinger Altstadt kern. Südlich wird es von der Bundesstraße 27 "An der Lutter", östlich durch die "Robert-Koch-Straße", nördlich von den Straßen "Am Weendespring" und "Friederich-Ebert-Straße" und westlich durch die Eisenbahnlinie "Hannover - Göttingen" begrenzt. Das Untersuchungsgebiet liegt damit vollständig im bebauten Siedlungsbereich.

3.112 Geschichte

Die Entstehung der Gemeinde Weende kann bisher noch nicht eindeutig datiert werden. Die erste Nennung eines Ortes, der mit der Gemeinde Weende identisch sein könnte, stammt aus dem Jahr 966 nach Christus. Kaiser Otto I. überträgt zu dieser Zeit in einer Schenkung Flächen der Ortschaft *Winide* und *Lenglere* an das Stift Enger bei Herford (BÖHME et al. , 1992). Funde einer kontinuierlichen Besiedlung des Göttinger Raumes wurden jedoch schon auf frühere Zeiten datiert. Sie sind bereits seit ca. 700 v. Chr. mit dem Beginn der frühen Eisenzeit, der sogenannten Hallstattzeit dokumentiert. Als Ursache dieser frühen Besiedlung sind die guten Böden des Leinegrabens und das Vorhandensein von Quellen am Rand des Grabens zu sehen. Die Existenz einer Siedlung mit dem Namen Weende wird daher bereits seit etwa 500 n. Chr. vermutet, kann jedoch bisher mit schriftlichen Überlieferungen nicht belegt werden.

Das in der Mitte des 12. Jahrhunderts gegründeten Kloster Weende prägte seit dem Mittelalter die Entwicklung der Gemeinde. Durch den von Beginn an konsequent durchgeführten Erwerb von Grundbesitz und Zehntrechten entwickelte es sich zum bedeutendsten Grundeigentümer im und über das Gebiet der Gemeinde Weende hinaus. Mit der Konzentration des Grundeigentums und den darüber hinaus sehr hohen Anteil von durch das Kloster eigenständig bewirtschafteten Ländereien wurde die Sozialstruktur und damit auch das Bild der Gemeinde bis ins frühe 19. Jahrhundert nachhaltig beeinflusst. Das Kloster ließ nur einen geringen Anteil seiner Flächen von sogenannten Meiern, also Pächtern eines Vollbauernhofes, bewirtschaften. Neben dieser Gruppe existierte die Gruppe der Köter. Ihre elementare Existenzgrundlage bildeten die die Häuser umgebenden Nutzgärten im Dorf und ein geringer Anteil der Pachtflächen außerhalb des Dorfes. Anteilsmäßig besonders bedeutend war die große Anzahl sogenannter Häuslinge in Weende. Der Häusling wohnte bei einem Meier oder

Köter zur Miete und führte im Gegensatz zum Gesinde einen eigenen Hausstand. Er lebte von Handwerk, Gewerbe oder Tagelohn. "Weende unterschied sich auch durch hohe Häuslingszahlen und besonders stark ausgeprägte Armut von anderen Dörfern im Göttinger Raum. Zu den Armen zählten nicht allein die oftmals alten und/oder kranken Fürsorgeempfänger, sondern auch jene anderen Einwohner, deren Einkünfte ebenfalls kaum über dem Existenzminimum lagen. ... [Dies] behielt offenbar bis zum Eintritt in das industrielle Zeitalter seine Gültigkeit. So begründete im August 1848 der Fabrikant Laporte den allgemeinen Nutzen seiner Initiative am Weendespring eine Fabrik anzulegen, wie folgt: *Es gibt nämlich im ganzen Hannoverschen Lande keinen Ort, welcher verhältnismäßig so mit Häuslingsfamilien überladen ist, als gerade das Dorf Weende. Es sollen gegen 140 Häuslingsfamilien dort wohnen. Daß dieselben nicht sämtlich und das ganze Jahr hindurch Tagelohn oder sonst Arbeit finden können, begreift sich von selbst, und wenn auch die bei Weende gelegene Eberweinsche Fabrik und die Kloster-Domäne Manchem Arbeit gewährt, so ist dies für solche Menge von vermöglosen Leuten lange nicht ausreichend*" (BÖHME et al., 1992). Die Einflüsse dieser Sozialstruktur prägen bis heute das Bild des Gemeindegebietes, sie werden an der Art der Bebauung sichtbar.

Als siedlungsstrukturell bedeutende Veränderungen der Neuzeit sind die Aufgabe des landwirtschaftlichen Betriebes des Klostergutes, die Ansiedlung der Industriefläche "Am Lutteranger", sowie die Erschließung verschiedener neuer Baugebiete im Norden und Westen des Weender Gemeindegebietes zu nennen (STADT GÖTTINGEN, 1966).

Mit der Eingliederung der Gemeinde Weende in die Stadt Göttingen am 4. Juli 1964 verlor die Gemeinde ihre politische Eigenständigkeit. Durch den Bau der neuen Universitätseinrichtungen entwickelte sich Weende in den letzten Jahren zum bevorzugten Wohngebiet für Universitätsangehörige und Studierende. Weende verlor damit auch den Charakter des Arbeiterwohnortes (STRÖHLEIN, 1992).

3.113 Siedlungsökologische Gliederung

Im Untersuchungsgebiet lassen sich in Anlehnung an WITTIG et al. (1993) verschiedene siedlungsökologische Grundtypen finden. Die Autoren unterscheiden folgende

Nutzungs- bzw. Baustrukturtypen:

1. Bebaute Gebiete (exkl. Industriebebauung)
 - dichte Bebauung
 - Teilbebauung mit Gärten
 - Teilbebauung mit Abstandsgrün
2. Industriestandorte, Speichieranlagen, Großmärkte
3. Verkehrsflächen
 - Straßen, Plätze und Wege
 - Eisenbahngelände
 - Wasserstraßen und Häfen
4. Brachflächen
5. Entsorgungsflächen
 - Mülldeponien
 - Rieselfelder
6. Grünflächen
 - Parks und Erholungsgebiete im Wohnbereich
 - Friedhöfe

Die Abbildung 3.2 zeigt die Gliederung des Untersuchungsgebietes nach den Nutzungs- bzw. Baustrukturtypen von WITTIG et al. (1993).

Das Untersuchungsgebiet läßt sich anhand der Nutzungs- und Baustrukturtypen neben den Verkehrsflächen in zwei grundsätzlich unterschiedliche Bereiche, einen Industriebereich und einen Wohnbereich, unterteilen. Der Industriebereich befindet sich im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes. Er entstand auf den ehemaligen landwirtschaftlichen Flächen des Klostergutes. Geprägt ist dieser Bereich durch eine hohe Versiegelung. Grünflächen und Bäume befinden sich hauptsächlich auf bisher ungenutzten Teilflächen sowie, mit Sichtschutzfunktion, an den Grundstücksgrenzen der einzelnen Industriebetriebe.



Abbildung 3.2: Gliederung des Untersuchungsgebietes nach den Nutzungs- bzw. Baustrukturtypen von WITTIG et al. (1993)

Der Bereich der Wohnbebauung schließt sich nördlich und östlich des Industriegebietes an. Er umfaßt im Kern das bereits seit einigen Jahrhunderten besiedelte Gemeindegebiet. In den älteren Siedlungsbereichen findet sich häufig noch eine lockere Bebauung mit einem hohen Anteil von Nutz- und Ziergärten. Hier sind zusätzlich zur Wohnbebauung einzelne Gewerbe-, Handwerks- und kleinere Industriebetriebe angesiedelt. Durch den Bau von Wohnhäusern in zweiter Reihe hinter den an der Straße gelegenen Gebäuden nahm die Wohngebäudedichte in diesem Bereich nach dem zweiten Weltkrieg immer mehr zu, die Gärten, Obstwiesen und Felder verschwanden (STRÖHLEIN, 1992). Mehrfamilienhausbereiche mit Abstandsgrün sind am Rand des ehemaligen Weender Altkerns entstanden. Auffallend ist bei diesem Baustrukturtyp die Gestaltung der Grünflächen zwischen den Wohnhäusern. Hier finden sich fast ausschließlich Rasenflächen mit sehr vereinzelt Bäumen und Sträuchern (WITTIG et al., 1993). Insgesamt sind die Grünflächen daher sehr licht. Dichte Wohnbebauung mit fast vollständiger Versiegelung des Bodens ist in Weende vereinzelt, insbesondere kleinflächig in Teilen der alten Siedlungsbereiche, vorhanden. An der Ostgrenze des Untersuchungsgebietes ist in den letzten 25 Jahren ein Wohngebiet mit vornehmlich Reihenhäusern entstanden. Der Grünflächenanteil ist innerhalb dieses Bereiches im Vergleich zu den anderen Baustrukturtypen sehr niedrig. Neben Zierrasenflächen finden sich heckenartige Strukturen entlang der Grundstücksgrenzen.

Der Park des ehemaligen Klostersgutes und der Friedhof im Zentrum von Weende sind die beiden größten öffentlichen Grünflächen. Im Bereich der Wohnbebauung sind ebenso wie am Rand des Untersuchungsgebietes zusätzlich einzelne kleinere Grünflächen vorhanden.

Das Untersuchungsgebiet zeichnet sich damit durch eine auf kleiner Fläche vielfältige Mischung von Baustrukturtypen aus.

3.12 Untersuchungsmaterial

3.121 Das RING als Basis des Baum- und Grünflächeninformationssystems

Von der Stadtverwaltung Göttingen wird seit 1985 ein raumbezogenes **I**nformationssystem entsprechend den Grundsätzen des MERKIS-Konzeptes aufgebaut (TAMKE, 1991). Als einheitlicher Raumbezug des Informationssystems für **G**öttingen (RING) wurde die automatisierte Liegenschaftskarte mit einem Erfassungsmaßstab von 1:500 gewählt. In der ersten Aufbaustufe, die bis Mitte 1998 nicht abgeschlossen war, sollen nach TAMKE (1991) die in der Tabelle 3.1 dargestellten Informationsebenen integriert werden.

Amt	Thema	Maßstab
Vermessungsamt	Stadtgrundkarte	1:500
	Stadtkarte	1:5.000
	Stadtplan	1:2.000
	Topographische Aufnahmen (Höhen)	1:500
	Haus- und Straßenummerierung	1:500
	Umlegungskarten	1:500
Gewässerschutzamt	Kanalkataster	1:500
	Gewässerkataster	1:20.000
Tiefbauamt	Straßenkataster	1:500
Grünflächenamt	Friedhofskataster	1:500
	Baumkataster	1:500
	Naturdenkmale	1:500
	Grünflächenkataster	1:500
	Grünflächenübersicht	1:5.000
	Biotopübersicht	1:5.000
Planungsamt	Flächennutzungsplanung	1:5.000
	Baurechtskataster	1:500
	Bauleitplanung	1:500
Bauordnungsamt	Baulastenverzeichnis	1:500
Umweltamt	Umweltatlas	1:2.000
Feuerwehr	Feuerwehrleitplan	1:500
Schulamt	Schulbezirke, Schulentfernungskarten	1:5.000
Liegenschaftsamt	Grundbesitznachweis der Gemeinde	1:500
Amt für Statistik und Stadtforschung	Statistische Gliederung der Stadt	1:5.000

Tabelle 3.1: Träger und Aufgaben des raumbezogenen Informationssystems in Göttingen (TAMKE, 1991)

Innerhalb des Grünflächenamtes soll unter anderem auch ein Baum- und Grünflächenkataster entstehen.

3.122 Luftbildmaterial und Orientierungsgrundlagen

Für die Untersuchung wurde ausschließlich auf bereits vorliegendes Luftbildmaterial zurückgegriffen. Die Tabelle 3.2 zeigt die technischen Daten der eingesetzten Stereoluftbilder.

Datum der Aufnahme	Quelle	Filmtyp	Brennweite (in mm)	mittlerer Maßstab	Flugrichtung	Qualität
17.5.1993	Stadtverwaltung Göttingen	Farb-Infrarot	303,55	1:10.000	Ost-West	Gut
20.3.1993	LVA Niedersachsen	Schwarz-Weiß-Panchromatisch	304,97	1:12.000	Ost-West	Gut
20.6.1983	LVA Niedersachsen	Schwarz-Weiß-Panchromatisch	305,03	1:12.500	Ost-West	Mittel
01.5.1971	LVA Niedersachsen	Schwarz-Weiß-Panchromatisch	152,64	1:12.000	Ost-West	Gut
11.5.1957	LVA Niedersachsen	Schwarz-Weiß-Panchromatisch	209,99	1:10.000	Süd-Nord	Gut

Tabelle 3.2: Technische Daten der eingesetzten Luftbilder

Die Farbinfrarotluftbilder wurden von der Göttinger Stadtverwaltung im Original bereitgestellt. Sie wurden 1993 im Rahmen einer Biotopkartierung vom Landkreis Göttingen aufgenommen. Die übrigen panchromatischen Schwarz-Weiß-Luftbilder sind zum Zweck der Landesvermessung vom niedersächsischen Landesvermessungsamt erstellt worden. Sie entstammen dem Landesluftbildarchiv und wurden als Kopie auf Film bearbeitet.

Für die digitale Bearbeitung mit einer *Softcopy*-Photogrammetrie-Auswertestation wurden die Farbinfrarotluftbilder der Befliegung von Mai 1993 mittels des photogrammetrischen Scanners PS 1 der Firma Zeiss-Intergraph mit einer Auflösung von 15 μm abgetastet und getrennt für die Farben rot, grün und blau zu digitalen Rasterbildern umgewandelt. Der photogrammetrische Scanner (MENKE, 1990) ermöglicht bei einer Auflösung bis zu 7.5 μm eine hochgenaue radiometrische und geometrische Erfassung

des Luftbildes. Bei einem mittleren Luftbildmaßstab von 1:10.000 für die gescannten Farbinfrarotluftbilder beträgt die geometrische Auflösung des Bildinhaltes (Pixel) 15cm * 15cm..

Zur Orientierung der Luftbilder wurden Lagepaßpunkte aus der automatisierten Liegenschaftskarte und Höhenpaßpunkte aus der DGK 5 (Blatt: Weende, 3564 Rechts/5714 Hoch, Aktualisierung: 1991) gewonnen.

Die Angabe zur Güte der Orientierung zeigt Tabelle 3.3.

Jahr	Modell	Verfahren	Anzahl Paßpunkte	Lagefehler (m)	Höhenfehler (m)
11.05.1957		analytische Luftbildauswertung	9	0,69	2,86
01.05.1971		“	9	0,47	2,47
20.06.1983		“	9	0,74	0,71
20.03.1993	West	“	26	0,29	0,76
	Ost	“	23	0,84	0,35
17.05.1993	West	“	24	0,06	0,11
	Ost	“	25	0,04	0,18
17.05.1993		<i>Softcopy</i> Photogrammetrie	47	0,61 / 1,01	0,72

Tabelle 3.3: Angaben zur Güte der Orientierung der Stereoluftbildmodelle

Für die Auswertung der Farbinfrarotluftbilder des Aufnahmejahrganges 1993 zeigt die Abbildung 3.3 beispielhaft die Lage der Paßpunkte.

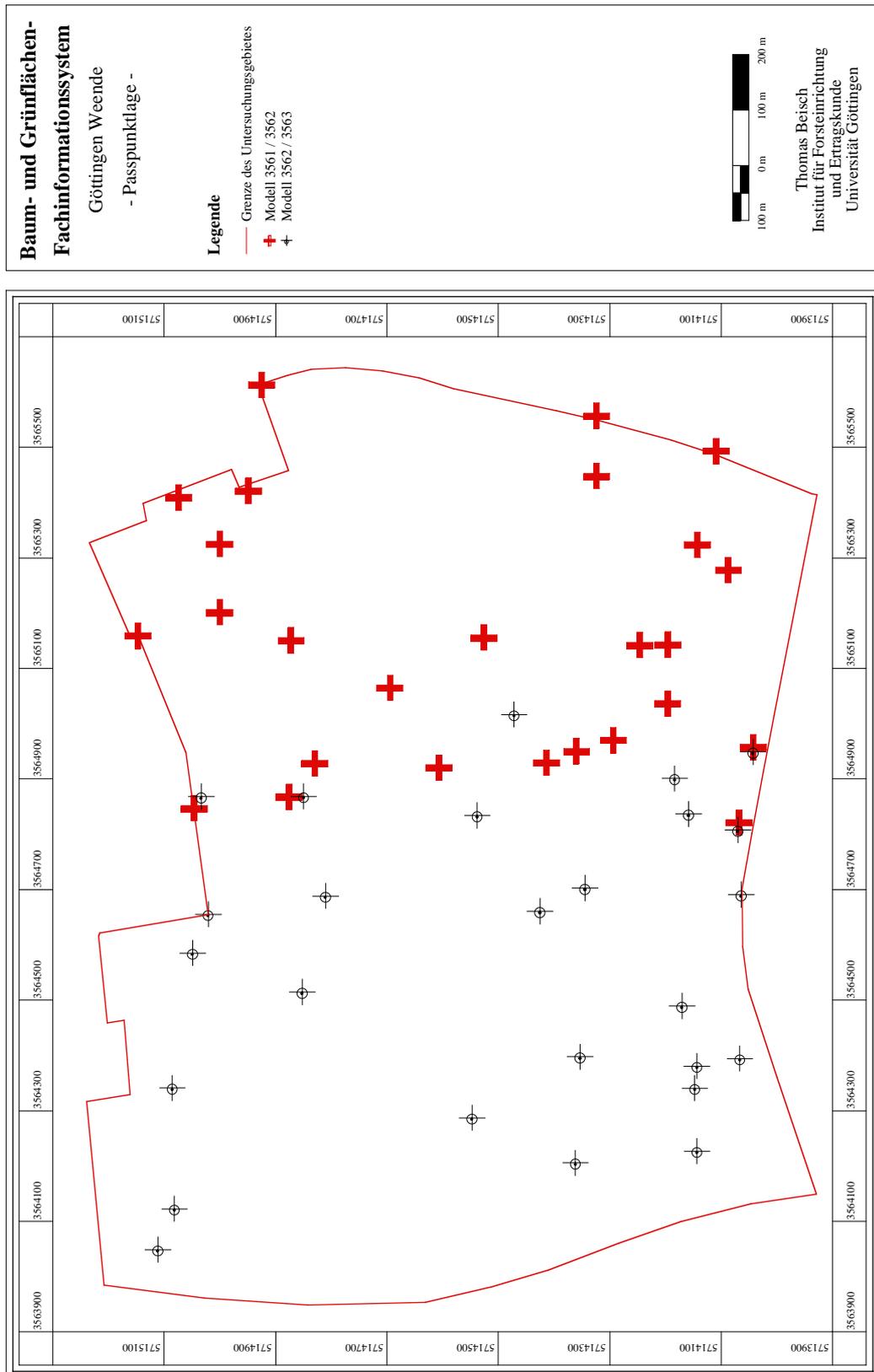


Abbildung 3.3: Lage der Paßpunkte für die Farbinfrarotluftbilder des Aufnahmejahrganges 1993 (Linie = Grenze des Untersuchungsgebietes)

3.2 Methoden

3.21 Geo-Informationssystem und Datenbankmanagement

Zur Entwicklung von datenbankgestützten Anwendungen, um die es sich auch bei Geo-Informationssystemen handelt, wird nach REINHARD (1995) das sogenannte *Database-Lifecycle*-Konzept angewandt. Dieses Konzept entspricht in seinem stufigen Aufbau dem *Software-Lifecycle*-Konzept, das den Prozeß der Erstellung von Anwendungsprogrammen systematisiert. Es besteht aus folgenden fünf Phasen (Abbildung 3.4):

1. Informationsbedarfsanalyse:
Ermittlung, Überprüfung und Spezifikation des Informationsbedarfes.
2. Konzeptueller Datenbankentwurf:
Implementationsunabhängige Beschreibung der Datenarchitektur mit Hilfe eines semantischen Datenmodelles.
3. Logischer Entwurf:
Überführung des konzeptuellen Entwurfes in das logische Datenmodell des gewählten Datenbanksystems.
4. Physischer Entwurf:
Festlegung geeigneter physischer Datenstrukturen und Zugriffspfade sowie Zuordnung von Sekundärspeicherkapazität.
5. Implementierung / Revision

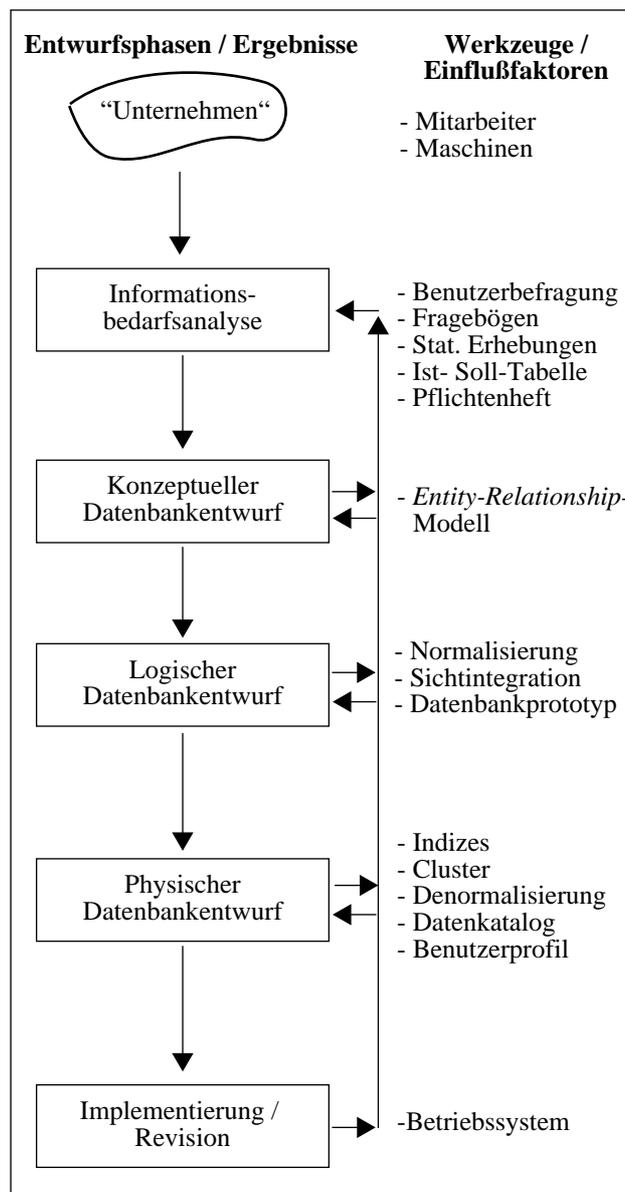


Abbildung 3.4: *Database-Lifecycle*-Konzept (RENNER und HOLSTEIN, 1995, nach REINHARD, 1995)

Die Informationsbedarfsanalyse hat zum Ziel, die Anforderungen der Endnutzer an das zu realisierende System zu erheben und in strukturierter Form zu dokumentieren. Insbesondere die Erfassung der Organisationseinheiten und die Identifikation sowie die Klassifikation der zu unterstützenden Aufgaben stehen hierbei im Vordergrund. Als Werkzeuge werden hierfür unter anderem die Benutzerbefragung, statistische Erhebungen oder sogenannte Ist-Soll-Tabellen eingesetzt. Die Informationsbedarfsanalyse ist häufig mit einer Aufgabenrevision bzw. -reorganisation verbunden.

Der konzeptuelle Datenbankentwurf dient zur Erstellung eines semantischen Datenmodells. Von CHEN wurde 1976 das *Entity-Relationship-Modell* (ER-Modell) entwickelt. Es ist ein Gegenstands-Beziehungs-Modell. Der Gegenstand (*Entity*) beschreibt ein abgrenzbares Objekt der Realwelt, das zu anderen Gegenständen Beziehungen (*Relationships*) besitzen kann. Die Darstellung des ER-Modell erfolgt formal in Form eines Strukturschemas oder graphisch als *Entity-Relationship-Diagramm*. Der *Entity*-Typ (E) wird hierbei durch Angabe der Attributmenge ($\text{attr}(E)$) sowie des Primärschlüssels (K), der aus Elementen von $\text{attr}(E)$ zusammengesetzt ist, charakterisiert:

$$E = (\text{attr}(E), K).$$

Die *Relationship*-Deklaration beinhaltet die Bezeichnung der beteiligten *Entity*-Typen, sowie eine mögliche Attributmenge (R):

$$R = (\text{ent}(R), \text{attr}(R)).$$

Neben den Gegenständen und den Beziehungen kann im ER-Strukturschema, bzw. ER-Diagramm, die Komplexität der Beziehung angegeben werden. Als Notation haben sich die Schreibweise 1:N für eine "Eins zu Viele" Relation, N:1 für eine "Viele zu Eins" Relation und N:M für eine "Viele zu Viele" Relation in der Fachwelt eingebürgert. Zusätzlich zu diesem Vorgehen werden bei den von REINHARD (1995) vorgeschlagenen Erweiterungen zum ER-Modell von CHEN (1976) minimale und maximale Relationsmengen vorgesehen, so daß die Eindeutigkeit der Beziehung und die Verbesserung der Datenintegrität erreicht wird.

Die Abbildung 3.5 zeigt beispielhaft einen Ausschnitt aus der Datenarchitektur eines Handelsbetriebes als ER-Diagramm. Die Rechtecke zeigen die Gegenstände (*Entity*) und die Rauten symbolisieren die Beziehungen (*Relationship*). Die minimale und maximale Relationsmenge wird als Wertepaar in Klammern angegeben.

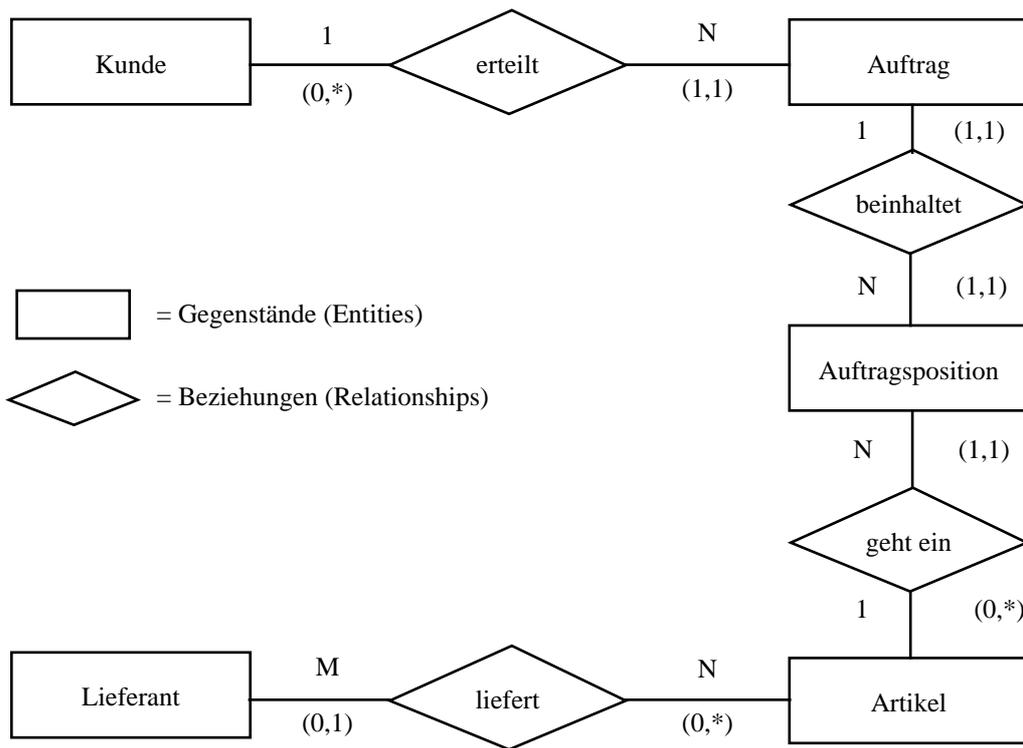


Abbildung 3.5: Ausschnitt aus der Datenarchitektur eines Handelsbetriebes als ER-Diagramm (REINHARD, 1995)

Der logische Datenbankentwurf dient der Übertragung des konzeptuellen Datenmodells in ein maschinell interpretierbares Datenbankschema. Hierzu werden bei relationalen Datenbanksystemen die im ER-Modell aufgebauten Entitäten und Relationen zu Datenbanktabellen und deren relationaler Verbindung umgesetzt. Das relationale Datenbankschema besteht damit im wesentlichen aus einer Aufzählung einer Reihe von optimierten Relationen und aus der Benennung der Schlüsseleigenschaften und Datentypen aller in diesen Relationen vorkommenden Attribute, sowie aus der Angabe von Integritätsbedingungen und Benutzersichten (RENNER und HOLSTEIN, 1995). Die Erzeugung stabiler Datenstrukturen, die das Auftreten von sogenannten Datenanomalien (Einfüge-, Änderungs- und Löschanomalien) durch Eliminierung unnötiger Redundanzen verhindert, wird nach REINHARD (1995) durch den Normalisierungsprozess erreicht. Voll normalisierte Relationen stellen ein "optimales" Datenmodell in dem Sinne dar, daß dieses die Ziele des logischen Datenbankentwurfes bezüglich Korrektheit, Konsistenz, Einfachheit, Redundanzfreiheit und Stabilität optimal verwirklicht (RENNER und HOLSTEIN, 1995).

Im *Database-Lifecycle*-Konzept folgt nun als vierter Schritt der physische Datenbankentwurf. Er dient zur unmittelbaren Anpassung der Datenbankstruktur an die Möglichkeiten der spezifischen Soft- und Hardwareumgebung. Die Möglichkeiten der Indizierung und der Clusterbildung sind hier vorrangig zu nennen. Sie dienen im wesentlichen zur Beschleunigung des physischen Datenzugriffes.

Der sich anschließende Vorgang der Anlage der Datenbank, der Erzeugung von Relationen sowie der Definition von Benutzersichten und Zugriffsrechten wird im *Database-Lifecycle*-Konzept als Implementierung bezeichnet (5. Schritt). Eine allgemeine Definition von Implementierung liefern SUHR und SUHR (1993). Sie verstehen darunter die "Überführung der Entwurfsergebnisse in Programme, die auf einem bestimmten Zielrechner ausführbar sind".

Für die Erstellung eines Fachinformationssystems ist insbesondere das Verständnis von der Beziehung zwischen Geometrien und Sachdaten, den sogenannten Attributen, von Bedeutung. Die Erstellung dieser Beziehung zu den geometrischen Objekten erfolgt hierbei stets als 1:N Relation, wobei ein Geometrie-Element mindestens ein aber auch mehrere Attribute besitzen kann (Abbildung 3.6). Ein Geo-Informationssystem kann damit auch als Kombination einer Geodatenbank und einer Sachdatenbank aufgefaßt werden.

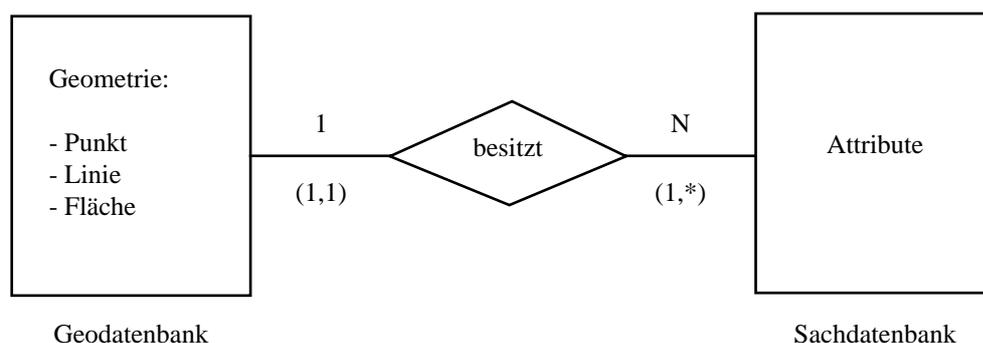


Abbildung 3.6: Ausschnitt aus einem ER-Diagramm eines Geo-Informationssystems

Die Geodatenbank verwaltet die geometrischen und topologischen Informationen zu den Punkt-, Linien- und Flächenobjekten. Bei den Linienobjekten werden in der Regel Informationen zur Richtung der Linie durch Angabe des Anfangs- und Endpunktes sowie zur Topologie in Form der links und rechts angrenzenden Nachbarfläche

gemacht. Als Attribute werden bei den Flächen geometrische Informationen zur Flächengröße und zum Umfang erfaßt. In der Sachdatenbank können den einzelnen Objekten darüber hinaus weitere Informationen zugeordnet werden.

Hinsichtlich der Komplexität und Funktionalität der Geodatenbank können vollwertige Geo-Informationssysteme und *Desktop-Mapping-Systeme* unterschieden werden⁷. Die *Desktop-Mapping-Systeme* besitzen einen vollständigen Umfang von Präsentationswerkzeugen sowie eingeschränkte bzw. vereinfachte Analyse-, Datenimport- und Datenbearbeitungswerkzeuge. Insbesondere fehlen diesen Systemen häufig Algorithmen zur Bildung der Topologie.

Für die Entwicklung von GIS- gestützten Datenbankanwendungen ist die 1:N Relation der Punkt-, Linien- oder Flächenobjekte der Geodatenbank zur Sachdatenbank von Bedeutung. Über diesen aus Richtung der Sachdatenbank eineindeutigen Bezug können beliebig komplexe Attributwertkombination erstellt und abgefragt werden. Die Anbindung externer Sachdatenbanken ist somit ebenfalls möglich.

3.22 Luftbildauswertung

3.221 Grundlagen der Luftbildauswertung

Luftbilder werden durch die streifenweise Befliegung des aufzunehmenden Gebietes mit einem mit einer Meßkamera ausgerüsteten Flugzeug erstellt. Die Aufnahmen erfolgen innerhalb eines Flugstreifens so, daß sie sich mindestens zu 60 Prozent überlappen, wodurch jeder Teil des Aufnahmegebietes von zwei aufeinanderfolgenden Luftbildaufnahmen und damit aus verschiedenen Blickrichtungen erfaßt wird. Dieses Vorgehen ermöglicht bei der anschließenden Luftbildauswertung eine räumliche Betrachtung nacheinander aufgenommener Luftbilder, den sogenannten Stereoluftbildpaaren. Damit das Aufnahmegebiet lückenlos auf den Luftbildern abgebildet wird, besitzen die Flugstreifen zusätzlich eine bis zu 35 prozentige Überdeckung quer zur

7. Beispielhaft gilt das von der Firma ESRI (Reedlands, USA) angebotene System *ARC/INFO* als vollwertiges Geo-Informationssystem. Das Produkt *ARCView*, das ebenfalls von ESRI angeboten wird, ist das entsprechende *Desktop-Mapping-System*.

Flugrichtung. Die Abbildung 3.7 zeigt schematisch die Bildanordnung bei der Luftbildaufnahme mit einer Reihenmeßkamera.

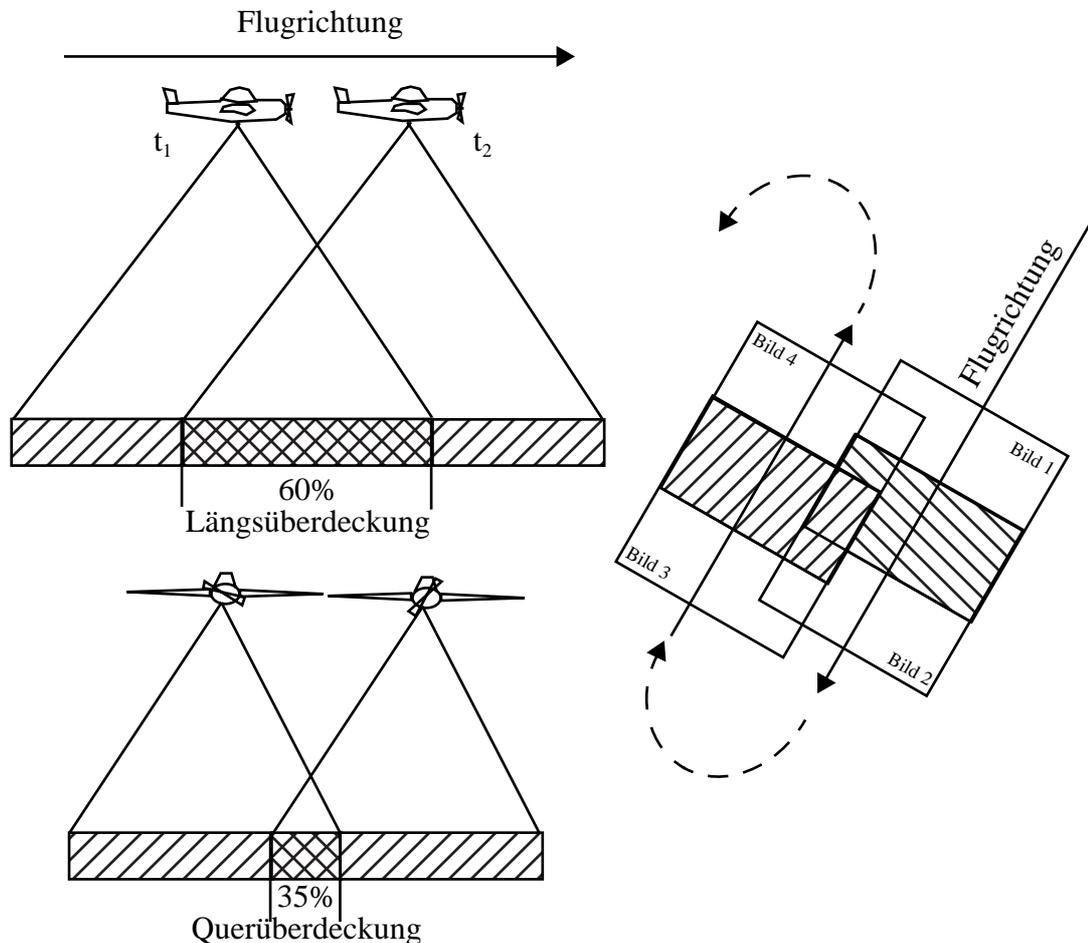


Abbildung 3.7: Aufnahme von Luftbildern (Anordnung der Flugstreifen, Überdeckung längs und quer zur Flugrichtung)

Durch Verwendung spezieller Kameras, den Meßkameras, ist eine geometrisch korrekte Rekonstruktion der Aufnahmesituation möglich. Im Vergleich zu einer handelsüblichen Amateurkamera sind bei einer Meßkamera die Brennweite, die Verzeichnung durch das Objektiv sowie die Lage des Bildmittelpunktes genau bekannt. Darüber hinaus gewährleisten diese Kameras bei der Befliegung eine nahezu absolute Planlage des Filmes.

Bei der photogrammetrischen Auswertung, das heißt bei der Nutzung von Luftbildern zum Zweck der Vermessung, werden nun die geometrischen Verhältnisse des Aufnahmevorganges durch *digitale* oder *analoge* Projektion wiederhergestellt (KRAUS, 1990). Dieser Vorgang wird als Orientierung bezeichnet und dient zur Bestimmung der

folgenden zwölf Orientierungsparameter:

Bild 1: $X_{01}, Y_{01}, Z_{01}, \varpi_1, \Phi_1, \kappa_1$

Bild 2: $X_{02}, Y_{02}, Z_{02}, \varpi_2, \Phi_2, \kappa_2$.

Sowohl für das linke wie auch rechte Bild muß die Lage des Projektionszentrums ($X_{01}, Y_{01}, Z_{01}, X_{02}, Y_{02}, Z_{02}$) und die jeweilige Drehung des Bildes um die X- (ϖ_1, ϖ_2), Y- (Φ_1, Φ_2) und Z- (κ_1, κ_2) Richtung bestimmt werden (Abbildung 3.8).

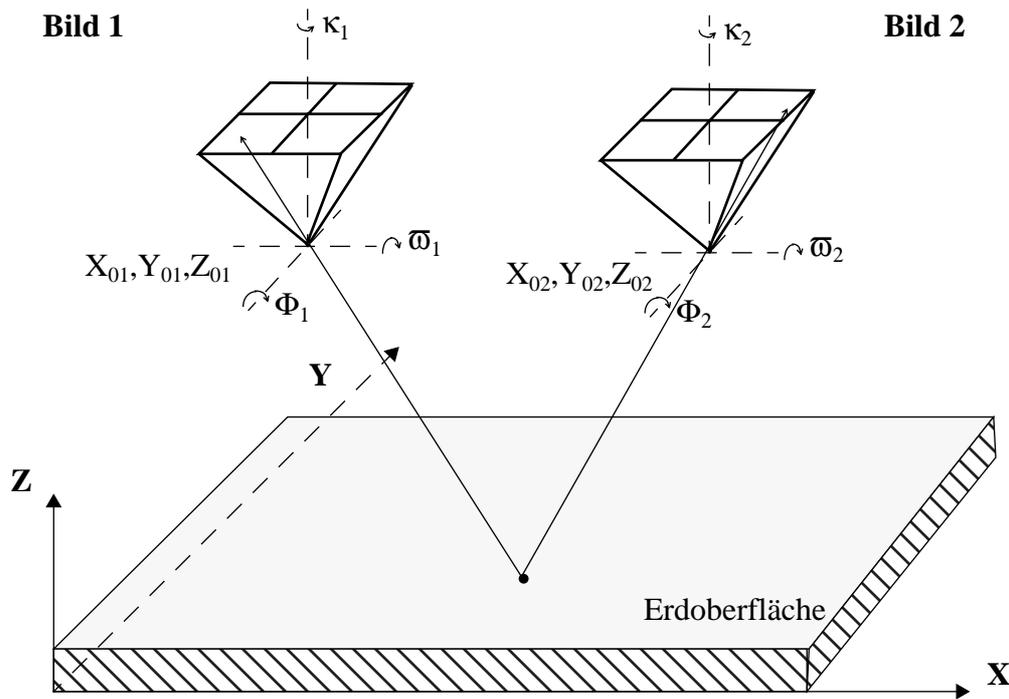


Abbildung 3.8: Orientierung eines Stereoluftbildmodelles

Die Orientierung erfolgt in drei aufeinander folgenden Schritten, der inneren, der relativen und der absoluten Orientierung. Durch die innere Orientierung wird das jeweilige Strahlenbündel der Luftbildaufnahme rekonstruiert. Hierzu müssen die Lage des Bildhauptpunktes ermittelt, die Brennweite der Kamera (Kammerkonstante) und die Objektivverzeichnung bekannt sein. Bei der relativen Orientierung wird durch Erstellung homologer Strahlenpaare die Zuordnung der Lage der Stereoluftbilder zueinander erreicht. Im gebräuchlichsten Verfahren werden zu diesem Zweck die y-Parallaxen im Bereich der systematisch über das Stereomodell verteilten sechs Gruber-Punkte beseitigt. Das Stereomodell ermöglicht nun eine räumliche, dreidimensionale Betrachtung des Dingraumes. Eine abschließende lage- und höhenmäßige Einordnung des zueinander orientierten Stereoluftbildpaares (Stereoluftbildmodelles) in ein geodätisches System ist das Ziel der absoluten Orientierung. Durch Zuordnung von

Punkten mit bekannter Lage und Höhe, den sogenannten Paßpunkten, kann im Stereoluftbildmodell die absolute Orientierung erfolgen. Es werden mindestens zwei Lage- (X,Y)- und drei Höhenpaßpunkte (Z) oder zwei Vollpaßpunkte (X,Y,Z) und ein abseits gelegener Höhenpaßpunkt benötigt. In einem vollständig orientierten Stereoluftbildmodell ist der Zusammenhang zwischen den Bild-, Modell- und Geländekoordinaten, also die notwendige Voraussetzung für die Luftbildvermessung, hergestellt.

Für die Auswertung von Stereoluftbildern wurden basierend “auf einer Idee von HUGERSHOFF seit 1919“ (HILDEBRANDT, 1996) zuerst analoge Stereoauswertegeräte entwickelt. Diese Geräte rekonstruieren die Aufnahmesituation durch optische, optisch-mechanische oder mechanische Projektion (HUSS, 1984). Bei den analytischen Stereoauswertegeräten, deren Meßprinzip HELAVA 1957 (zitiert nach HILDEBRANDT, 1996) entwickelte, wird durch in das Auswertegerät integrierte digitale Prozeßrechner mathematisch der Zusammenhang zwischen den Bild-, Modell- und Geländekoordinaten hergestellt. Die Rechner übernehmen dabei die Aufgabe der räumlich-mechanischen bzw. optischen Lenker der Analoggeräte, so daß sich die bei der klassischen Luftbildauswertung notwendige optisch-geometrische Nachbildung des Stereomodells erübrigt und somit eine sehr zeit- und kostengünstige photogrammetrische Bildauswertung möglich ist (HUSS, 1984; KONECNY und LEHMANN, 1984).

Eine Weiterentwicklung der analytischen Photogrammetrie findet sich in der digitalen Photogrammetrie (LEBERL, 1991), die entsprechend dem englischen Originalbegriff im Folgenden als *Softcopy*-Photogrammetrie bezeichnet werden soll. An Stelle analoger Photographien, das heißt Bilder auf Film oder Papier, wird bei der *Softcopy*-Photogrammetrie mit digitalen Rasterbildern gearbeitet. Dieses Verfahren besitzt unter anderem bei der Bildorientierung und der Bildauswertung verschiedene Vorteile. Der entscheidende Unterschied zur analogen und analytischen Photogrammetrie ist nach LILLESAND und KIEFER (1994) jedoch in der Möglichkeit der automatisierten Bildauswertung, zum Beispiel zur Erstellung digitaler Oberflächenmodelle bzw. Orthophotos, zu sehen.

3.222 Kartierverfahren

Für die Kartierung der innerstädtischen Bäume und Grünflächen wurde ein die visuelle und automatische Luftbildauswertung kombinierendes Verfahren eingesetzt. Die Abbildung 3.9 zeigt graphisch seinen Ablauf.

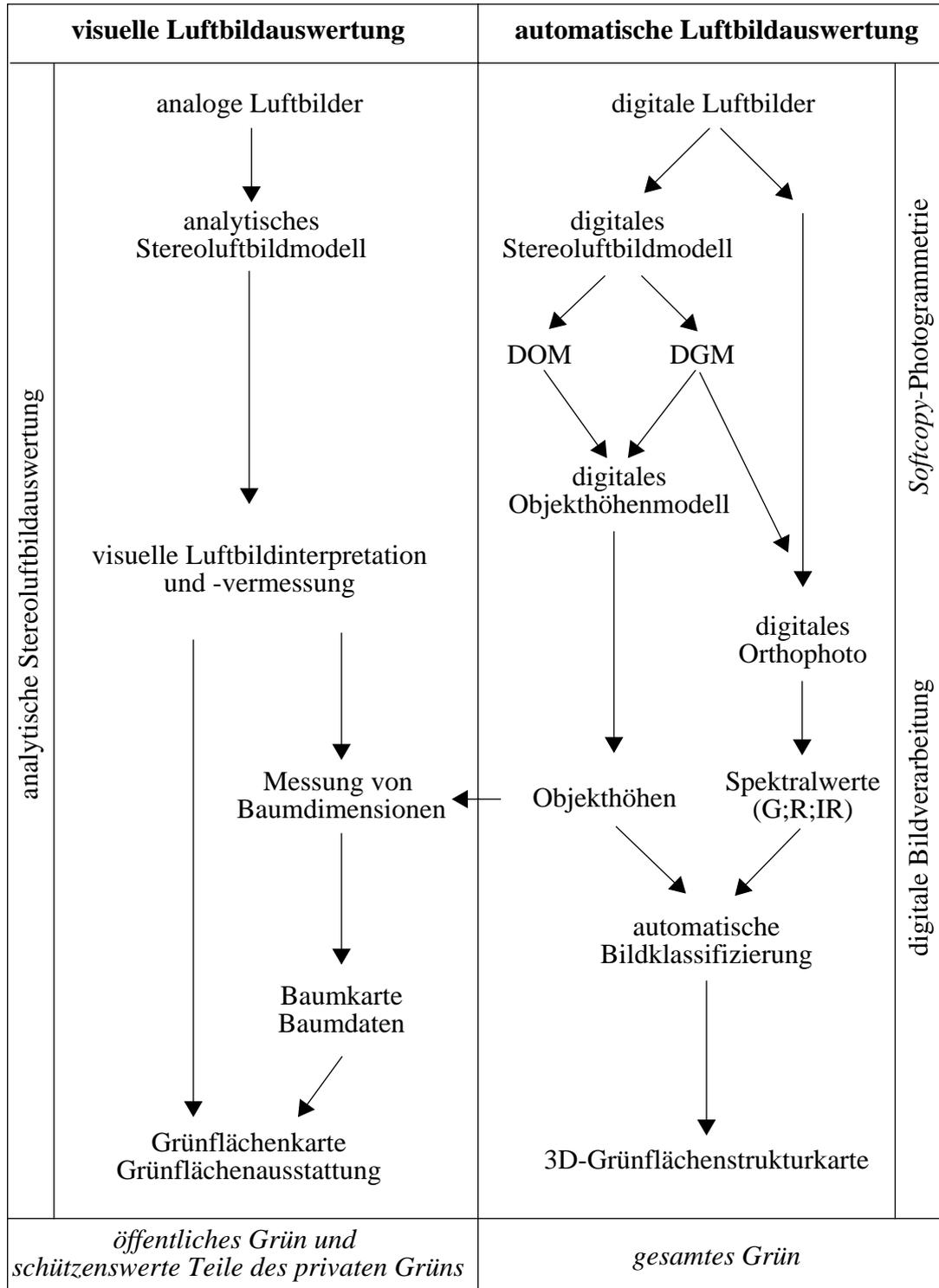


Abbildung 3.9: Verfahrenskomponenten zur Kartierung innerstädtischer Bäume und Grünflächen (DOM = digitales Oberflächenmodell; DGM= digitales Geländemodell; G = Grün; R = Rot; IR = Infrarot)

Das Ziel der automatischen Luftbildauswertung ist die Erstellung einer Grünflächenstrukturkarte für das gesamte Untersuchungsgebiet. Die Grünflächenstrukturkarte soll eine Übersicht über die Grünflächenverteilung im Untersuchungsgebiet geben und für raumplanerische Vorhaben einsetzbar sein. Die visuelle Luftbildkartierung liefert in Kombination mit der terrestrischen Inventur die konkreten objekt- und flächenbezogenen Daten des Baum- und Grünflächeninformationssystems. Im Folgenden wird auf die einzelnen Verfahrensschritte detailliert eingegangen.

Zur Kartierung der Bäume und Grünflächen wurden Geräte und Methoden

- der analytischen Photogrammetrie [Stereoplotter DSR 11/18 der Firma Kern],
- der *Softcopy*-Photogrammetrie [Softplotter der Firma Vision International] und
- der digitalen Bildverarbeitung [Erdas Imagine und Multispec der NASA]

eingesetzt. Der Stereoplotter Kern DSR 11/18 ermöglicht eine rechnergesteuerte Auswertung durch visuell-manuelle Kartierung im dreidimensionalen Modellraum. Der Softplotter ist eine *Softcopy*-Photogrammetrie-Auswertestation. Er dient zur Bearbeitung digitaler Rasterbilder und kann neben der Funktionalität eines analytischen Auswertegerätes unter anderem zur automatischen Berechnung digitaler Oberflächenmodelle und zur Erzeugung digitaler Orthophotos eingesetzt werden. Die Bildverarbeitungssoftware Erdas Imagine und Multispec ermöglichen eine automatische Bildklassifizierung.

3.222.1 Visuelle Luftbildauswertung

Bei der Kartierung mit dem analytischen Stereoplotter wird vom Operateur die Lage der aufzunehmenden Objekte visuell erfaßt. Zu diesem Zweck positioniert er die Meßmarke im dreidimensionalen Modellraum auf das Objekt, so daß er für jeden Meßpunkt die geodätische Lage (Rechts- und Hochwert der Gauss-Krüger Koordinaten) und die Höhe (über NN) erhält. Die Erfassung von Linien- oder Flächenobjekten erfolgt durch die Kartierung offener bzw. geschlossener Polygone.

Bei der Grünflächenerfassung werden die Objektgrenzen dreidimensional, das heißt mit korrekter Lage und Höhe, kartiert. Da die Grenzlinien bei Betrachtung aus dem Luftbild häufig durch Bäume oder Sträucher verdeckt sind, wurden in dieser Unter-

suchung Aufnahmen aus Winterbefliegungen ausgewertet. Dennoch im Luftbild nicht einsichtige Bereiche wurden terrestrisch ergänzt. Die Attributierung der Objekte erfolgte nach dem Objektschlüsselkatalog der NUTZERGEMEINSCHAFT ALK-GIAP (1995).

Für die Kartierung der Bäume wurden sowohl Luftbildbefliegungen aus der Vegetationszeit, wie auch aus der vegetationslosen Zeit eingesetzt. Die Erfassung der Lage der Baumspitze und des Baumfußpunktes sowie des Kronenrandes ist, soweit sichtbar, durch Stereoluftbildauswertung möglich. Die Kartierung des Kronenrandes und der Baumspitze erfolgte mit den Farbinfrarotluftbildaufnahmen der Befliegung von Mai 1993. Die lage- und höhenmäßige Erfassung der Baumfußpunkte wurde mit Hilfe der Winteraufnahmen durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde die Meßmarke anhand der bereits in der Sommeraufnahme erfaßten Lage der Kronenspitze vom Auswertegerät automatisch positioniert und manuell auf die genaue Lage des Baumfußpunktes ausgerichtet. Bei den Nadelgehölzen wurde die Lage der Kronenspitze, soweit nicht einsichtig, auch für den Fußpunkt angenommen. Die Höhe des Fußpunktes wurde im zum Baum nächstgelegenen einsehbaren Bodenbereich bestimmt.

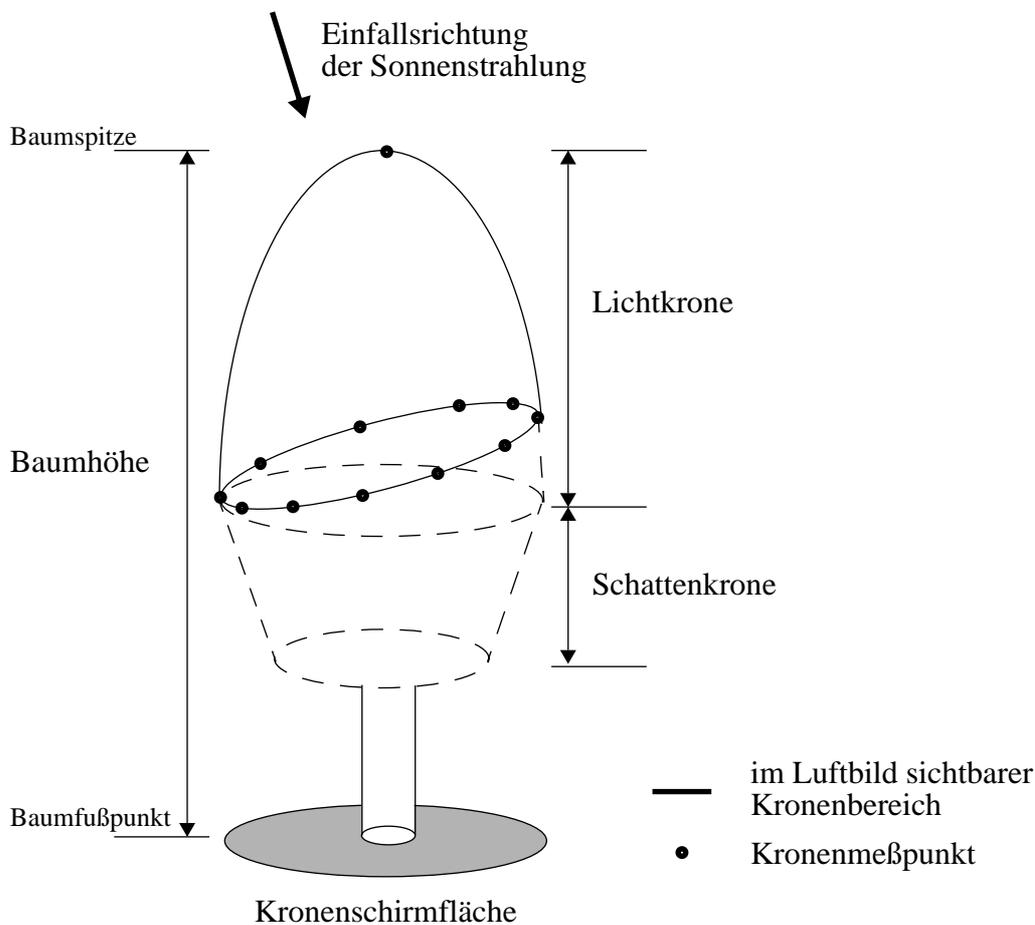


Abbildung 3.10: Kartierung von Baumkronen im Stereoluftbild

Die von der Einfallrichtung der Sonneneinstrahlung abhängende Beleuchtung der Krone beeinflusst die Kartierung des Kronenrandes. Die Erfassung der größten Kronenausdehnung am Übergang zwischen Licht- und Schattenkrone (Abbildung 3.10) ist nur bei im Zenit stehender Sonne und im Zentralbereich des Luftbildes möglich. Zum Bildrand hin sowie bei auf- und untergehender Sonne ist vom Betrachter nur die punktierte Schnittlinie in Abbildung 3.10 als unterste Kronenbegrenzungslinie kartierbar.

Die Lage und Verteilung der Meßpunkte des Kronenrandpolygones wurde so gewählt, daß die Kronenform flächenmäßig möglichst exakt wiedergeben wird. Innerhalb jedes Quadranten wurden drei bis fünf Meßpunkte je nach Kronendurchmesser aufgenommen. Die sternförmige Kronenausdehnung der Nadelhölzer wurde mit einer mittleren Kronenpolygonlinie zwischen maximaler Ausdehnung an den Zweigspitzen und minimaler Ausdehnung in den Einbuchtungen erfaßt.

Die Ansprache der Attribute der Baum-Objekte wurde entsprechend dem Entscheidungsbaum in Abbildung 3.11 durchgeführt.

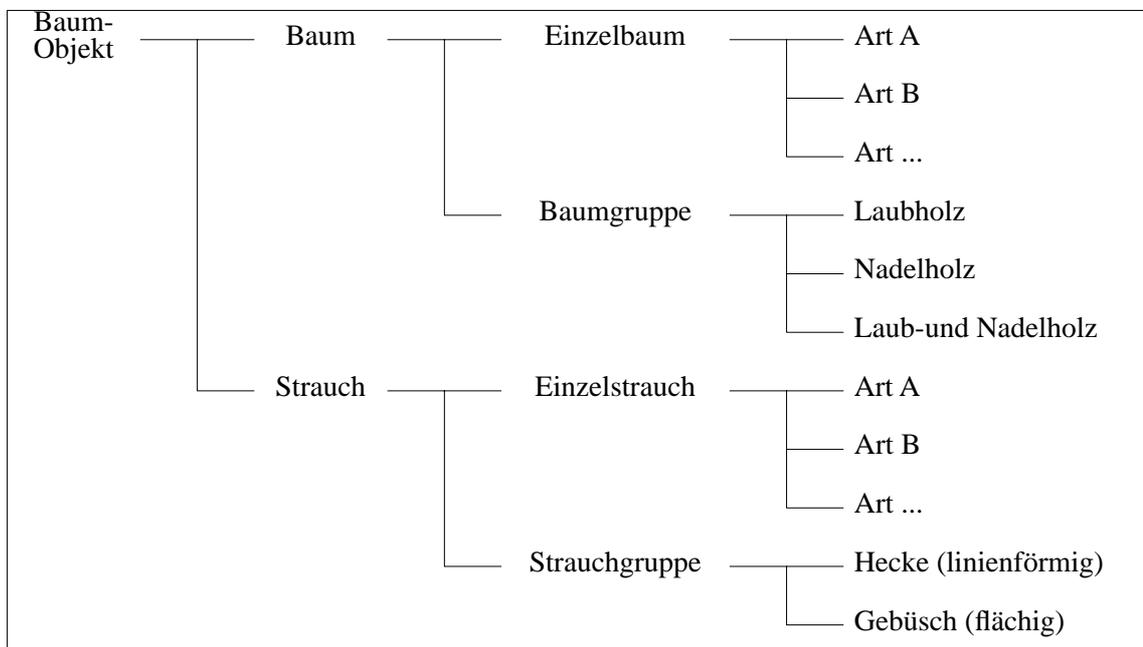


Abbildung 3.11: Entscheidungsbaum zur Ansprache der Bäume und Sträucher im Luftbild

Der Entscheidungsbaum ist stufig aufgebaut. Vom Interpreten wurde die Ansprache der Eigenschaften für jedes Baum-Objekt unterschiedlich weit, bis hin zur Angabe der

Art, differenziert. Als Entscheidungskriterien wurden neben dem visuellen Gesamteindruck die Merkmale Höhe, Flächengröße und Flächenform herangezogen, so daß neben der visuellen Klassifizierung auch eine automatische Zuordnung anhand der vom Luftbildinterpret gemessenen Merkmale erfolgen konnte (siehe Abbildung 4.21 auf Seite 106). Als Merkmal für die Flächenform wurde der Quotient

$$\frac{\text{Umfang}^2}{\text{Fläche}}$$

gewählt. Der Quotient liefert als dimensionslose Größe Werte von 4π für den Kreis und 16 für das Quadrat. Zunehmende Werte beschreiben die Abweichung der Form des Körpers von diesen beiden kompakten Grundformen.

Zur Bestimmung der Kronenvolumina und der Kronenmantelflächen können vereinfachend verschiedene geometrische Körper gewählt werden.

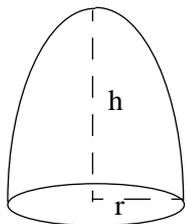
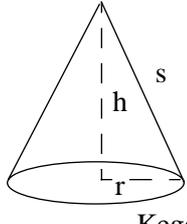
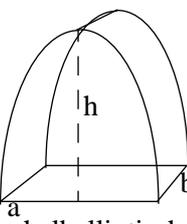
Baumgruppen Vegetationsformen	Geometrische Körper	Volumen	Mantelfläche
Laubbaum Lichtkronenlänge: h=1/2 Baumhöhe Strauch Lichtkronenlänge: h=1/1 Baumhöhe	 quadratisches Paraboloid	$\pi \cdot r^2 \cdot \frac{h}{2}$	$\frac{\pi \cdot r}{6 \cdot h^2} \left[(4 \cdot h^2 + r^2)^{\frac{3}{2}} - r^3 \right]$
Nadelbaum Lichtkronenlänge: h=2/3 Baumhöhe	 Kegel	$\frac{\pi \cdot r^2 \cdot h}{3}$	$\pi \cdot r \cdot \sqrt{r^2 + h^2}$
Gebüsch Hecke Lichtkronenlänge: h=1/1 Baumhöhe	 halbelliptischer Längskörper	$\frac{\pi}{2} a h b$	$\frac{\pi}{2} \left[\frac{3}{2} (a + h) - \sqrt{a h} \right] b + \pi a h$ Näherungslösung für a/h > 1/5

Tabelle 3.4: Kronenmodelle zur Bestimmung der Kronenvolumen und Kronenmantelflächen der Lichtkrone (in Anlehnung an PRETZSCH (1992); Formeln aus ROTTMANN (1960); SIEBER und HUBER (1980))

Die Tabelle 3.4 zeigt die für die Berechnung genutzten Kronenmodelle für den Lichtkronenbereich auf. Für das Modell "Laubbaum / Strauch" wird ein quadratischer Paraboloid und für das Modell "Nadelbaum" ein Kegel als geometrischer Grundkörper angenommen. Alternativ könnten für Laubbäume auch Kegelschnittmodelle Anwendung finden. Die Radien der Körper werden aus den im Luftbild gemessenen Kronenschirmflächen mit der Kreisflächenformel hergeleitet. Die Länge der Lichtkrone wird beim Laubbaummodell mit der halben Baumhöhe, beim Nadelbaummodell mit 2/3 der Baumhöhe und beim Strauch mit der ganzen Höhe des Strauches festgelegt. Für das Modell "Gebüsch / Hecke" wird ein halbelliptischer Längskörper angenommen, der von der Stirnseite betrachtet eine halbelliptische Begrenzungslinie aufweist. Aus den im Luftbild für Gebüsch und Hecken gemessenen Flächen und Umfängen wird eine rechteckige Fläche hergeleitet, die die gleiche Flächengröße (F) und den gleichen Umfang (U) besitzt. Die beiden Seiten des Rechteckes (a, b) lassen sich anhand des Gleichungssystems:

$$\left| \begin{array}{l} (U = 2a + 2b) \\ (F = ab) \end{array} \right| \Rightarrow \left| \begin{array}{l} \left(b = \frac{U}{4} + \sqrt{\left(\frac{U}{4}\right)^2 - F} \right) \\ \left(a = \frac{F}{b} \right) \end{array} \right| \quad \text{für } \left(\frac{U^2}{F} \geq 16 \right)$$

herleiten. Die Approximation einer beliebigen Flächenform durch ein Rechteck ist für alle geometrischen Körper möglich, deren U^2/F - Verhältnis größer gleich 16 ist. Für annähernd kreisförmige Objekte (Kreis: $U^2/F = 4\pi$) läßt sich diese Umwandlung nicht durchführen. Die kürzere Strecke bildet die Längsseite und damit die Grundseite für die halbelliptische Begrenzungsfläche, deren zweite Kenngröße mit der Höhe der Hecke bzw. des Gebüsches gleichgesetzt wird.

3.222.2 Automatische Luftbildauswertung

Neben der visuellen Auswertung der Stereoluftbildmodelle am analytischen Stereoplotter wurde für die Erstellung der Grünflächenstrukturkarte zusätzlich untersucht, inwieweit durch Einsatz einer *Softcopy*-Photogrammetrie-Station und der automatischen Klassifizierung Bäume und Grünflächen erfaßbar sind. Vor der Darstellung der verschiedenen Klassifizierungsmethoden soll nachfolgend zuerst auf die automatische Erstellung dreidimensionaler Oberflächenmodelle und die Herstellung von

Orthophotos eingegangen werden.

Digitale Geländemodelle

Digitale Geländemodelle und digitale Oberflächenmodelle stellen eine im Computer gespeicherte dreidimensionale und digitale Beschreibung eines Teils der Erdoberfläche dar. Sie ermöglichen eine Zuordnung der Höhe für jeden beliebigen, lagemäßig definierten Punkt. Digitale Geländemodelle und digitale Oberflächenmodelle unterscheiden sich nur in ihrer Bezugsebene. Digitale Geländemodelle beschreiben die topographische Geländehöhe, während bei den digitalen Oberflächenmodellen auch die Höhe der landschaftsbedeckenden Objekte, wie z.B. Siedlungen oder Wälder, berücksichtigt wird. Diese Modelle können neben der visuell-manuellen Messung an analytischen Stereoplottern grundsätzlich auch automatisch mit *Softcopy*-Photogrammetrie-Auswertestationen hergeleitet werden.

KRAUS (1996) unterscheidet für die automatische Rekonstruktion von Oberflächenmodellen prinzipiell zwei Vorgangsweisen:

1. *Vom Bild zum Objekt*: Die Bilder werden analysiert (z.B. durch pixelweises Vorgehen, eventuell unterstützt durch Bildpyramiden und/oder Segmentierung), die homologen Bild-zu-Bild-Zuordnungen gefunden und die dreidimensionalen Objektkoordinaten aus den gefundenen Bildpositionen errechnet. Diese sich rein auf die Bildgrauwerte stützenden Verfahren werden auch als *ikonische* Verfahren bezeichnet.
2. *Vom Objekt zum Bild*: Ein genähert angenommenes Objektmodell wird durch die geometrische und/oder radiometrische Modellierung des Abbildvorganges so verfeinert, daß es mit den gegebenen Bildern optimal übereinstimmt. Dieser *objektgestützten* Vorgehensweise kann entweder ein *ikonisches* oder ein *semantisches* (z.B. topologie- oder modellorientiertes) Zuordnungsverfahren oder eine Kombination beider zugrunde liegen.

Der erste Ansatz, der von WEISSENSEE und WROBEL (1991) auch als *signal based matching* im Gegensatz zum *attribute based matching* bezeichnet wird, ist zur Berechnung von Oberflächenmodellen im Softplotter von VISION INTERNATIONAL implementiert. In einem orientierten Stereoluftbildmodell, dem einfachsten Fall, werden durch Autokorrelation im linken und im rechten Luftbild zueinander homologe

Bereiche gesucht, das heißt anhand von Bildausschnitten werden Grauwertmuster des linken und rechten Bildes miteinander verglichen. Dieses Verfahren wird als "Matching" (= gegenseitige Zuordnung) bezeichnet. Die optimale Zuordnungsposition findet sich dort, wo die quadratischen Grauwertdifferenzen der beiden Bildausschnitte minimal sind (*Least Squares Matching*). Um den rechenintensiven Vergleich von Grauwertmustern räumlich einzuschränken, werden als Hilfsmittel zur Bestimmung geeigneter Näherungspositionen Bildpyramiden⁸ eingesetzt (ACKERMANN und HAHN, 1991) (Abbildung 3.12).

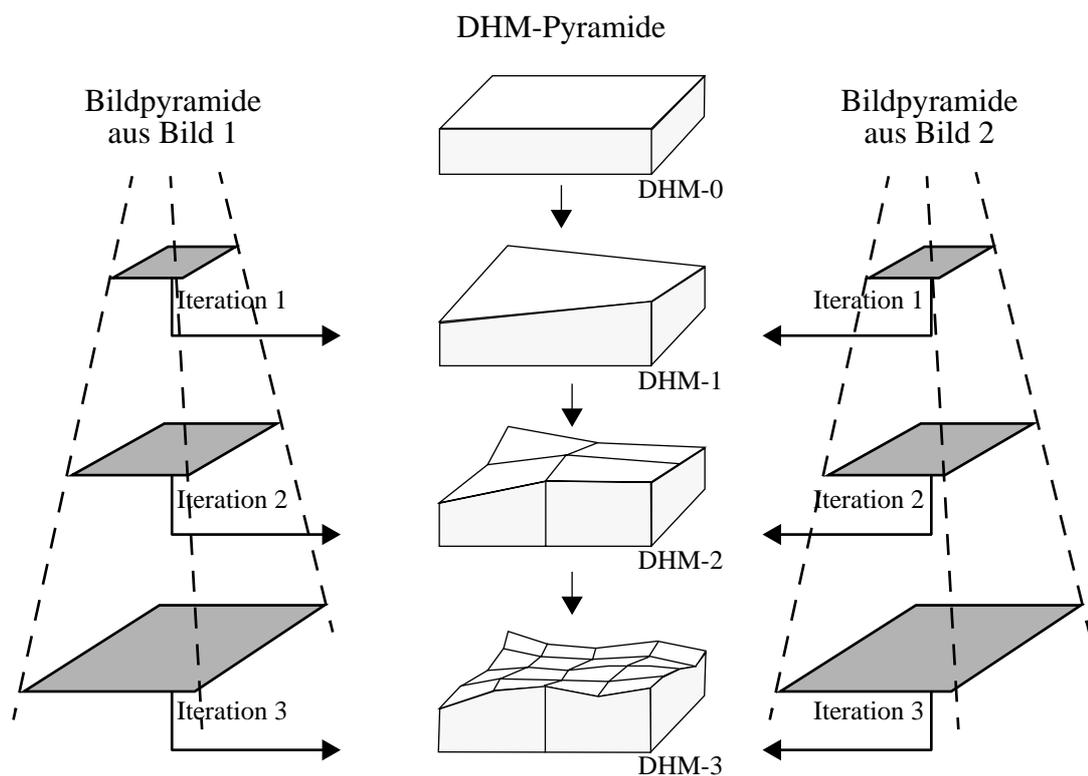


Abbildung 3.12: Verwendung von Bildpyramiden für das Matching eines digitalen Höhenmodells (DHM) (KRAUS, 1996)

Die Autokorrelation erfolgt jetzt beginnend in der obersten, mit der geringsten Anzahl von Bildelementen versehenen Pyramidenebene und wird nach erfolgreichem *Matching* in der nächstunteren Ebene, bis hin zum Originalbild fortgesetzt. Aus den Bildwertmatrizen werden anschließend die Raumkoordinaten der homologen Bildpunkte und daraus abgeleitet deren X-Parallaxen und damit die Geländehöhe

8. Folgen von stufig voneinander abgeleiteten und in der Bildelementezahl jeweils stark reduzierten Abbildern werden als Bildpyramide bezeichnet. Bei ihrer Erstellung werden mehrere Grauwerte des Ursprungbildes (2*2; 3*3 ...) zu einem neuen Grauwert im Abbild zusammengefaßt.

berechnet.

Digitale Orthophotos

Neben dem digitalen Oberflächenmodell wurde für das Untersuchungsgebiet auch ein digitales Orthophoto erstellt. Ein Orthophoto ist die Darstellung des verzerrten, zentralperspektivischen Luftbildes in einer Orthogonalprojektion. Geometrisch ist ein Orthophoto damit einer Karte gleichzusetzen, wobei der Bildinhalt weiterhin erhalten bleibt.

Zur Erstellung eines digitalen Orthophotos ist ein digitales Geländemodell notwendig, damit der geometrische Zusammenhang zwischen den Bildkoordinaten (x, y) und den Geländekoordinaten (X, Y, Z) ermittelt und durch Transformation ein geometrisch korrektes Ausgabebild in orthogonaler Projektion abgeleitet werden kann. Die Abbildung 3.13 stellt diesen Zusammenhang graphisch dar.

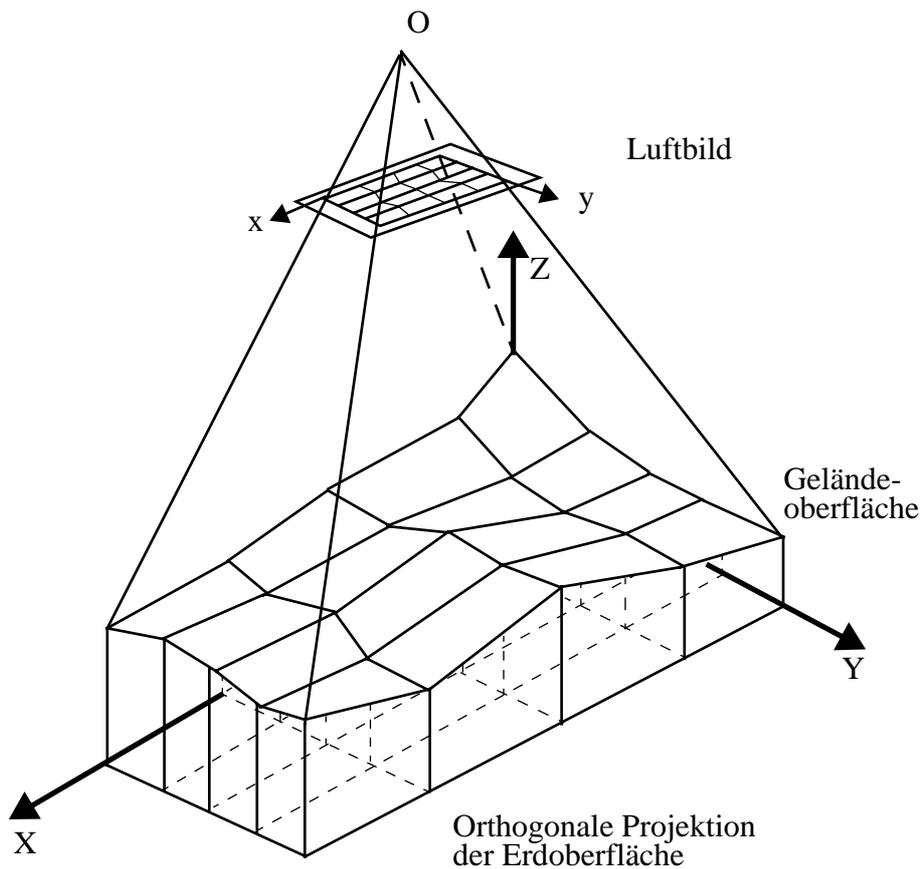


Abbildung 3.13: Zusammenhang zwischen digitalem Geländemodell und Vorlagebild (KRAUS, 1996)

Automatische Bildinterpretation

Die automatische Bildauswertung zur Bestimmung des Bildinhaltes (automatische Bildklassifizierung), die in der Fernerkundung besonders zur Auswertung von Satellitenbildern eingesetzt wird, basiert auf der Annahme, daß Objekte ähnlicher stofflicher Zusammensetzung, morphologischer Gestalt und Physiologie vergleichbare spektrale Reflexionseigenschaften besitzen. Die Kenntnis der für die einzelnen Objektklassen, wie zum Beispiel Wasserflächen, landwirtschaftliche Flächen oder bebauten Flächen, charakteristischen Reflexionen ermöglicht durch mathematisch-statistische Klassifizierungsverfahren eine automatisierte Zuordnung des Bildinhaltes in vorher definierte Klassen. Die Zuordnung zu einer Objektklasse erfolgt hierbei getrennt für jedes einzelne Bildelement (*Pixel*). Als mathematisch-statistische Verfahren werden überwachte und unüberwachte Klassifizierungen unterschieden. Bei der überwachten Klassifizierung wird der Bildinhalt pixelweise in vorher in Form von Referenzflächen (Trainingsflächen) definierte Klassen unterteilt. Die Zuordnung zu einer dieser Klassen erfolgt z.B. durch Berechnung der maximalen Wahrscheinlichkeit der Zugehörigkeit zu einer Objektklasse (*Maximum-Likelihood*) oder der geringsten Distanz zu den spektralen Reflexionseigenschaften der vorher festgelegten Referenzflächen (*Minimum-Distance*). Bei der unüberwachten Klassifizierung wird der Bildinhalt durch Clusteranalyse in eine vorher festgelegte maximale Anzahl von Klassen aufgeteilt. Mit diesem Verfahren werden für die einzelnen Klassen Bildelemente mit vergleichbarer spektraler Reflexion zusammengefaßt. Eine thematische Zuordnung für die einzelnen Klassen liegt damit nicht vor, sie muß vom Auswerter für jede einzelne Klasse im nachhinein noch ermittelt werden. Ausführlichere Darstellungen dieser Klassifizierungsalgorithmen finden sich bei HABERÄCKER (1991), RICHARDS (1993) und HILDEBRANDT (1996).

Ein weiterer Ansatz der automatisierten Bildauswertung wird mit dem Stichwort Mustererkennung beschrieben. Die automatische Bildinterpretation erfolgt hierbei so, daß der Bildinhalt nach typischen, vorher in Bibliotheken definierten, räumlich-spektralen oder räumlich-geometrischen Mustern durchsucht wird. Für die Auswertung von Stereoluftbildern wird hierzu von GRÜN und HENRICSSON (1997) ein Verfahren zur automatischen Messung von Häusern im Stadtbereich vorgestellt. Der durch Stereoluftbildauswertung gewonnene dreidimensionale Modellraum wird bei diesem Verfahren räumlich-geometrisch nach den Häuser bildenden Grundkörpern (Quadern, Prismen

oder Pyramiden) durchsucht. Weiterführende Literatur findet sich bei EBNER et al. (1991) sowie ALTAN und GRÜNDIG (1997). Eine Übertragung dieses Ansatzes auf die Erfassung von Bäumen und Sträuchern konnte durch die sehr stark variierenden Formen bisher nicht vollständig realisiert werden. Erste Ansätze finden sich bei HALBRITTER (1996) und DRALLE (1997).

Die Verfahren der textur- oder kontextorientierten Bildauswertung sind methodisch zwischen der pixelorientierten Klassifizierung und der objektorientierten Bildanalyse bei der Mustererkennung einzuordnen. Diese Verfahren betrachten bei der Klassifizierung nicht nur die spektralen Eigenschaften der Bildelemente, sondern analysieren zusätzlich den räumlichen Zusammenhang (RICHARDS, 1993). Das heißt vor oder während der Klassifizierung werden durch Vergleich der Reflexion benachbarter *Pixel* zusammenhängende Bereiche lokalisiert. Der von KETTIG und LANDGREBE (1976) entwickelte Klassifizierungsalgorithmus "ECHO" soll, da in dieser Untersuchung zur Klassifizierung herangezogen, nachfolgend detaillierter beschrieben werden.

Der Begriff "ECHO" steht für "*Extraction and Classification of Homogeneous Objects*". Die Klassifizierung des Bildinhaltes erfolgt dabei in zwei aufeinanderfolgenden Schritten. Im ersten Schritt werden mittels diverser Algorithmen Bereiche ähnlicher spektraler Eigenschaften hergeleitet. Diese Bereiche entstehen rekursiv wachsend durch direkten Vergleich benachbarter Bildelemente (Abbildung 3.14).

Der Algorithmus beginnt die Klassifizierung mit dem ersten Bildelement in der ersten Zeile des Bildes. Nun werden die benachbarten Bildelemente bezüglich ihrer Homogenität zum Ursprungsbildelement untersucht. Wird das benachbarte Bildelement als homogen zum ersten angesehen, so vergrößert sich die Zelle. Dieser Vorgang wiederholt sich nun für alle Nachbarbildelemente der Zelle. Kann kein homogenes angrenzendes Bildelement mehr gefunden werden, wird der Zellinhalt in seiner Gesamtheit klassifiziert. Der Algorithmus sucht nun im Bild das nächste noch nicht klassifizierte Bildelement und beginnt die Bildung homogener Zellen von Neuem.

Für die Zusammenfassung der Bildelemente gibt es verschiedene Algorithmen. Für die bisher nicht Bereichen ähnlicher Reflexion zugeordneten Bildelemente erfolgt nachfolgend eine pixelweise Zuordnung durch überwachte Klassifizierung z.B. mit

dem *Maximum-Likelihood*-Algorithmus.

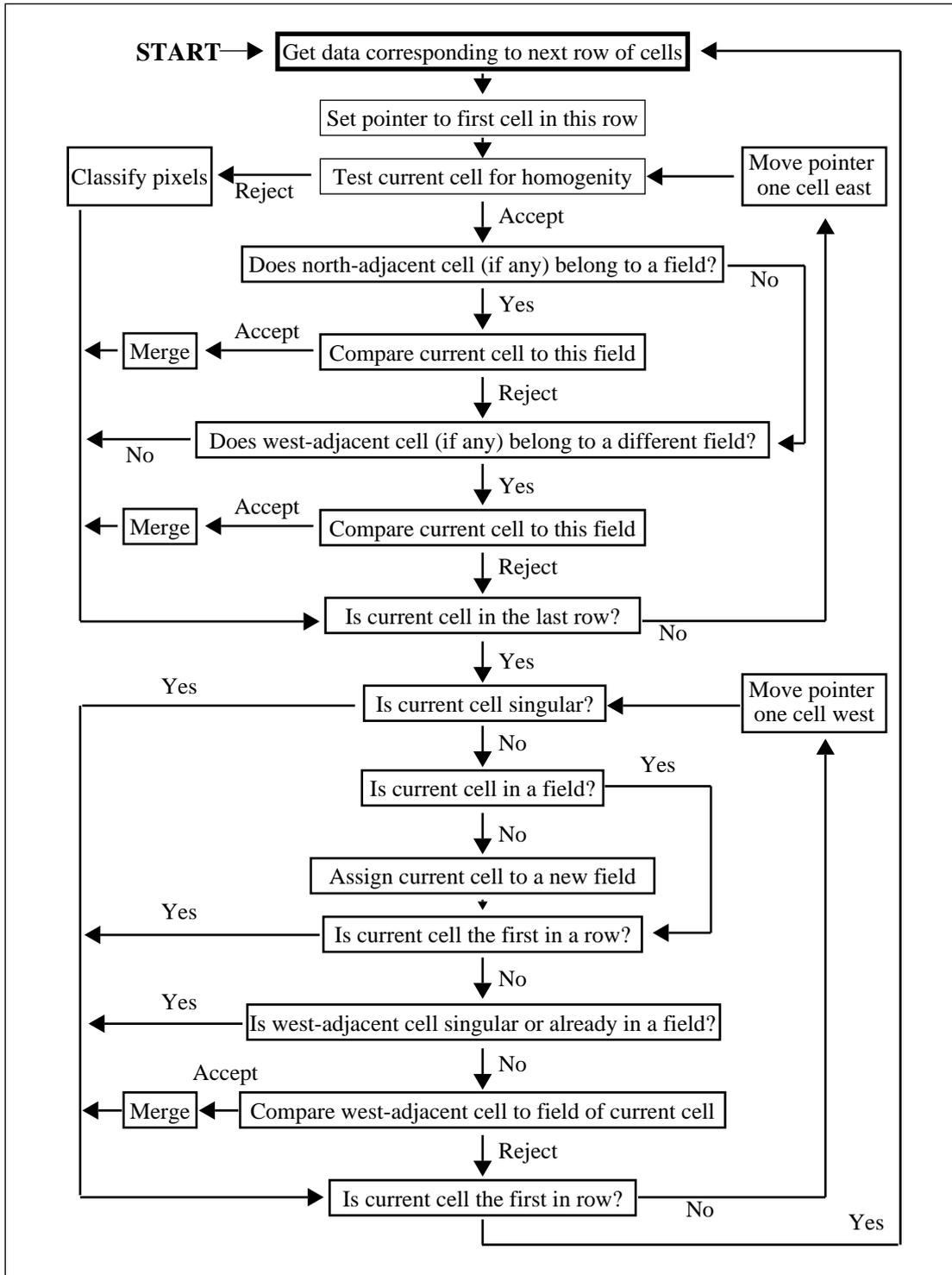


Abbildung 3.14: Flußdiagramm der *ECHO*-Klassifizierung (nach KETTIG und LANDGREBE, 1976)

Besonderheiten bei der Klassifizierung von Luftbildern

Bei allen optischen Fernerkundungsaufnahmen wird die vom Objekt zum Sensor gerichtete Strahlung erfaßt. Diese Strahlung ist jedoch nicht direkt proportional zum Reflexionsgrad des Objektes, sie wird von verschiedenen "Störeinflüssen", wie zum Beispiel der atmosphärischen Streuung oder auch dem richtungsabhängigen Transmissionsgrad der Sensoroptik überlagert (radiometrische Verzerrungen). Bei Aufnahmen mit Flächensensoren, so auch im Falle von Luftbilderaufnahmen, ist u.a. der Blickrichtungseffekt eine Ursache für radiometrische Verzerrungen (KRAUS und SCHNEIDER, 1990). So werden bei der Aufnahme von Luftbildern die einzelnen Teile der Erdoberfläche vom Sensor aus verschiedenen Blickrichtungen erfaßt.

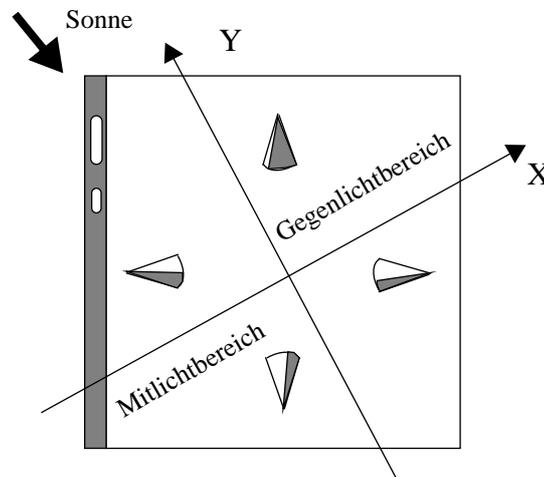


Abbildung 3.15: Blickrichtungseffekte bei Luftbildaufnahmen (nach KRAUSS und SCHNEIDER, 1990)

Die Objekte liegen so teilweise im Mit- und Gegenlichtbereich und verursachen entsprechend der objektspezifischen Vor- oder Rückwärtscharakteristik je nach der Lage auf dem Luftbild eine unterschiedliche Reflexion. Eine Voraussetzung bei digitalen Auswertungsverfahren wie z.B. bei der überwachten Klassifizierung anhand Auswahl von Trainingsgebieten ist jedoch die Ortsunabhängigkeit der Reflexion gleicher Objekte. Als radiometrische Korrekturverfahren (Rektifizierungsverfahren) werden von KRAUS und SCHNEIDER (1990) zwei verschiedene Ansätze dargestellt:

1. Die relative radiometrische Rektifizierung:

Bei der relativen radiometrischen Rektifizierung erfolgt eine bildortabhängige rechnerische Korrektur der Reflexion, so daß identische Objekte überall auf dem

Luftbild die gleichen Reflexionswerte besitzen. Die Korrekturfunktion muß für jede Objektgruppe (Baumart, Flächennutzung) getrennt ermittelt werden.

2. Die Differenz- und Verhältnisbildung von Bildkanälen:

Bei Bildung von Differenzen oder Quotienten von nah benachbarten Spektralkanälen werden bildortunabhängige, qualitativ miteinander vergleichbare Bildelemente erzeugt (zum Nachweis siehe KRAUS und SCHNEIDER (1992)). Der *Normal Difference Vegetation Index (NDVI)* ist ein auf diesem Prinzip basierender Index zur Erfassung der Vegetation (BARRET und CURTIS, 1992).

Zur Reduktion dieses bildortabhängigen Einflusses der Reflexion auf die Ergebnisse der automatischen Bildklassifikation wurde in der vorliegenden Untersuchung zusätzlich zu den drei Kanälen der Differenzkanal "infrarot minus rot" herangezogen.

Durch die Klassifizierung sollten in Ergänzung zu den bereits vorliegenden Informationen aus dem automatisierten Liegenschaftskataster folgende Klassen ausgetrennt werden:

- Flächen mit niedriger Vegetation (Rasenflächen, Nutzgärten),
- Flächen mit Vegetation mittlerer Höhe (Gebüsch, Sträucher und Hecken) und
- baumbestandene Vegetationsflächen.

Die Auswertung beschränkt sich damit auf alle nicht durch bauliche Anlagen, wie zum Beispiel durch Gebäude oder Straßen, versiegelte Flächen.

Anhand von drei Ausschnitten, die unterschiedliche Baustrukturtypen charakterisieren, wurde die Eignung verschiedener Klassifizierungsmethoden überprüft. Die Ausschnitte sind:

1. *Thiehaus:*

Ein- und Mehrfamilienhausbereich mit Nutz- und Ziergärten.

2. *Färberstrasse*

Mehrfamilienhausbereich mit Abstandsgrün.

3. *Klosterpark / Lutteranger*

Parkanlage mit Altbaumbestand im Norden, sowie Industriebereich im Süden des Ausschnittes.

Zur Klassifizierung wurden vier Kanalkombinationen und zwei Klassifizierungs-

methoden kombiniert (Tabelle 3.5).

	G;R;IR	G;R;IR; (IR-R)	G;R;IR; OH	G;R;IR; (IR-R);OH
<i>Maximum-Likelihood</i> -Klassifikation	1	2	3	4
<i>ECHO</i> -Klassifikation	5	6	7	8

Tabelle 3.5: Versuchsanordnung für die Klassifizierung (G: Grün-Kanal; R: Rot-Kanal; IR: Infrarot-Kanal; (IR-R): Differenzkanal Infrarot minus Rot; OH: Objekthöhenkanal)

Zusätzlich zu den Kanälen (G; R; IR) wurden der Differenzkanal (IR-R) sowie der aus dem digitalen Oberflächenmodell und dem digitalen Geländehöhenmodell hergeleitete Objekthöhenkanal (OH) herangezogen.

Zur Herleitung des digitalen Geländemodells wurden anhand der ALK-Daten die "Nicht-Straßen-Bereiche" des Luftbildes sowie zusätzlich durch spektrale Schwellenwertverfahren die baumbestandenen Zonen ausmaskiert. Durch Dreiecksvermaschung wurden aus den digitalen Höhendaten der Straßen für die ausmaskierten Bereiche die fehlenden Geländehöhen ermittelt. Anschließend wurde die Differenz zwischen dem digitalen Oberflächenmodell und dem digitalen Geländemodell, das sogenannte Objekthöhenmodell, berechnet und auf 8 Bit Farbtiefe je Bildelement skaliert.

Die Güte der Klassifizierung wurde durch unabhängig von den Trainingsgebieten ausgeschiedene Testflächen überprüft. Zur Charakterisierung wurde

- a) die Klassenzuordnungsgenauigkeit (*overall class performance*),
- b) die Produzenten-Genauigkeit (*producers accuracy*),
- c) die Nutzer-Genauigkeit (*users accuracy*) sowie
- c) der Kappa Wert (HUDSON und RAMM, 1987)

herangezogen. Die Klassenzuordnungsgenauigkeit beschreibt das Verhältnis der Anzahl der korrekt zugeordneten Bildelemente der Testflächen an der Gesamtanzahl der Bildelemente innerhalb der Testflächen. Getrennt für die einzelnen Klassen wird dieses Verhältnis als Produzenten-Genauigkeit bezeichnet. Die Nutzer-Genauigkeit beschreibt hingegen die Güte der Klassifikation aus Sicht der ausgewiesenen Klassen. Mit ihr wird somit angegeben, wie hoch der Anteil der korrekt ermittelten Bildelemente

je ausgewiesener Klasse ist. Der Kappa Wert (κ) wird durch folgende Formel ermittelt:

$$\kappa = \frac{N \sum_k x_{kk} - \sum_k x_{k+} x_{+k}}{N^2 - \sum_k x_{k+} x_{+k}}$$

Die Produkte der Gleichung ergeben sich aus der Fehlermatrix, wobei N die Gesamtanzahl der Bildelemente der Testflächen, $\sum x_{j+}$ die Summe aller Bildelemente je Zeile j und $\sum x_{+i}$ die Summe aller Bildelemente je Spalte i ist. Große Kappa-Verhältniswerte beschreiben daher eine hohe Genauigkeit der Klassifizierung.

3.23 Terrestrische Ergänzungsinventur

Die terrestrische Ergänzungsinventur für diese Untersuchung erfolgte für die Erfassung der Bäume und Grünflächen durch einen Feldbegang, der sich auf alle öffentlich zugänglichen bzw. einsehbare Bereiche des Untersuchungsgebietes erstreckte.

Da sich aus der von BEISCH und VON DER RECKE (1997) durchgeführten Umfrage ergab, daß ein Baumkataster vordringlich

- der rationellen Pflege des Baumbestandes,
- der Verkehrssicherungspflicht und
- dem Baumschutz

dienen soll, wurde ein entsprechender Erfassungsbogen entwickelt. Der Aufnahmebogen besteht aus einer durch Luftbildauswertung mit Baumkronen ergänzten automatisierten Liegenschaftskarte und einem tabellarischen Baumdatennachweis. Bei der Ersterfassung basiert der Aufnahmebogen daher auf einer vorangegangenen Kartierung der Baumkronen mit Hilfe der Stereoluftbildauswertung und einer Verarbeitung der Daten innerhalb eines Geo-Informationssystems, wie es im Rahmen dieser Untersuchung entwickelt wird.

Bei der Aufnahme wurde zwischen einer Erst- und Folgeinventur, sowie einer Inventur zur Überprüfung der Verkehrssicherheit unterschieden.

Im Aufnahmebogen ist die getrennte Erfassung von unveränderlichen und damit einmalig zu erfassenden Grunddaten, wie Baumnummer, Baumart und Baumposition

sowie von nur periodisch zu erfassenden Merkmalen zum Baum (Stammumfang, Baumhöhe) und zum Standort (Größe, Bewuchs, Beschaffenheit des unversiegelten Bereiches) vorgesehen. Die Erfassung von Schäden und Maßnahmen erfolgt getrennt für den Wurzel-, Stamm- und Kronenbereich.

Für die rationelle Pflege des Baumbestandes werden die Grunddaten, Daten über den Standort, eventuelle Schäden sowie notwendige Maßnahmen erfaßt. Für die Beurteilung der Verkehrssicherheit wird neben den Schäden am Baum das Lichtraumprofil, eine Beugung der Krone, eine Anhebung von Straßenbelägen, der Abstand zur Fahrbahn und eine Neigung des Gesamtbaumes von stärker als 10° angesprochen. Die Aufnahmen werden jeweils mit Datum und Name des Bearbeiters versehen (VON DER RECKE, 1997).

Die Abbildungen 3.16, 3.17 und 3.18 zeigen einen Ausschnitt einer durch Luftbilddauswertung mit Baumkronen ergänzten automatisierten Liegenschaftskarte, den Aufnahmebogen für die Erstinventur und deren Schlüsselziffern.

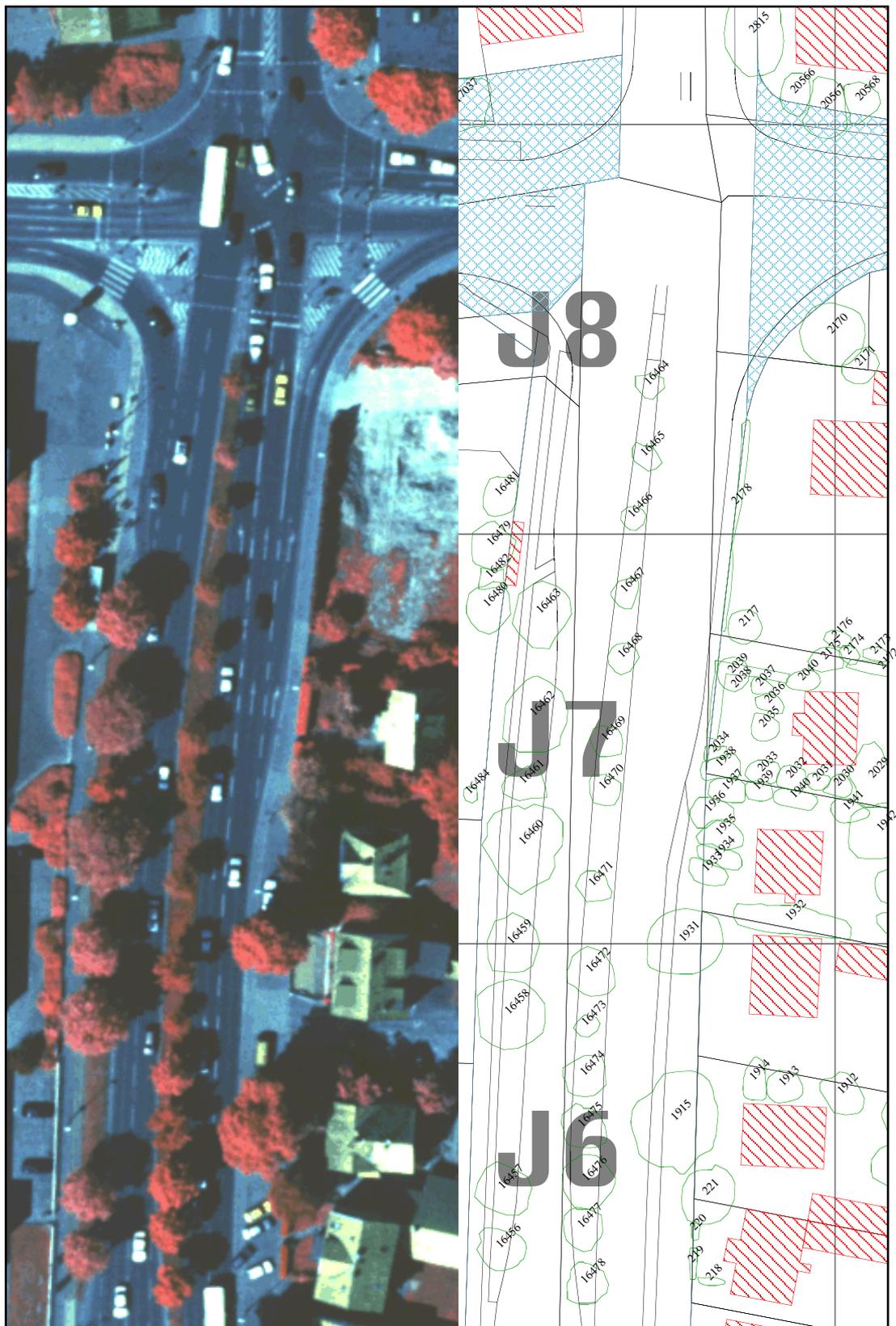


Abbildung 3.16: Karte des Erfassungsbogens

Stadt: Straßename: Seite: Datum:	Bearbeiter: Schäden / Besonderheiten	Straßenschnitt: Standort	Wurzelraum Stamm Krone Gesamtzustand	
		Baumnr. Hausnr. / KM-Stein		
		Gattung/Art Altersstufe Umfang in Im Höhe Höhenstufe		
		Größe unverseigelter Bereich Bewuchs unverseigelter Bereich Beschaffenheit unverseigelter Bereich Umgebung des unverseigelten Bereiches im Kronenbereich Abstand zur Fahrbahn Schutzzei- richtungen		
		baumpf.Maßnahme erforderlich baumpf.Maßnahme erforderlich baumpf.Maßnahme erforderlich baumpf.Maßnahme erforderlich		

Abbildung 3.17: Erfassungsbogen "Baumkataster"

<p>Grunddaten</p> <p>Baumnummer: aus Kronenkarten</p> <p>Hausnummer / km-Stein: sofern in der Nähe des Straßenbaumes vorhanden</p> <p>Gattung / Art: genau bestimmen</p> <p>Altersstufe: 1: ≤20 Jahre 2: 20 - ≤60 Jahre 3: > 60 Jahre</p> <p>Umfang in 1m Höhe: auf ganze cm bestimmen</p> <p>Höhen- Stufen: 1: bis 5m 2: >5-10m 3: >10 - 15m 4: >15 - 20m 5: > 20m</p> <p>Standort</p> <p>Größe unversiegelter Bereich: 1: ges. Wurzelbereich unversiegelt 2: Baumstreifen > 3m Breite 3: Baumstreifen ≥ 2m - 3m Breite 4: Baumstreifen < 2m Breite 5: Baumstreifen > 9m² 6: Baumstreifen ≥ 4m² - 9m² 7: Baumstreifen < 4m² 8: ges. Wurzelbereich versiegelt</p> <p>Bewuchs unversiegelter Bereich: 1: unbewachsen 2: teilweise bewachsen</p>	<p>3: völlig bewachsen A: mit Rasen / Spontanvegetation B: mit Sträuchern / Stauden</p> <p>Beschaffenheit des unversiegelten Bereiches: 1: Mutterboden, unverdichtet 2: Mutterboden, verdichtet 3: durchlässige Bedeckung (Kies, Lavolith, Mulch, ..) 4: Lochsteine 5: Baumrost, Beton 6: Baumrost, Metall 7: wasser- / luftdurchlässig verfügbares Pflaster 8: Bodenauftrag 9: Bodenabtrag</p> <p>Umgebung des unversiegelten Bereiches im Kronenbereich: 1: Asphalt / Beton 2: Platten 3: Pflaster 4: Kübel 1: Anhebung Wegbelag</p> <p>Abstand Fahrbahn zum Baum: 1: < 0,5 m 2: 0,5 - < 1 m 3: 1 - < 2 m 4: 2 - < 5 m 5: ≥ 5 m</p> <p>Schutzeinrichtungen: 1: erhöhte Baumscheibe 2: Parkbügel / Poller 3: Leitplanke 4: Stützpfahl 5: Belüftungs- / Entwässerungsrohr 6: Bewässerungsseimer</p>	<p>Schäden / Besonderheiten</p> <p>Wurzelraum: 1: Wunde im Wurzelraum 2: Wunde im Stammfuß 1: wenn Wunde > 30% des Stammumfanges 3: Stockaustrieb 4: Pilzfruchtkörper 5: Verätzungen am Stammfuß</p> <p>Stammbereich: 1: Rindenverletzung 1: wenn Wunde > 30% des Stammumfanges 2: offene Höhlungen, Faulstellen 3: Hohlklingen des Stammes 4: Schleimfluß 5: Absterben / Abstoßen der Rinde 6: Risse / Rippen 7: Ausbeulungen / Wucherungen 8: Einwachungen von Fremdkörpern 9: Insektenbefall 10: Pilzfruchtkörper 11: Neigung A: bis 10° B: > 10° 12: Drehwuchs 13: Zwiesel 14: Stammaustriebe 15: Stammsicherungselemente</p> <p>Kronenbereich: 1: Höhlungen / Faulstellen / Wunden 2: bruchgefährdete Starkäste / Totasthänger 3: abgestorbene Kronenbereiche A: < 25% C: < 75% B: < 50% D: ≥ 75% 4: schütterere Belaubung 5: Nekrose, Pilzbefall, tierische</p>	<p>Schädlinge, vorzeitiger Laubfall Kronenraum eingeengt durch: A: Oberleitungen B: Gebäude C: Baum</p> <p>6: gekappte Krone 7: Kronensicherungselemente 8: Lichtraumprofil (4,3m) nicht eingehalten</p> <p>Gesamtzustand 1: gesunder Baum: • am gegebenen Standort guter Allgemeinzustand • sehr gute Vitalität • höchstens unbedeutende Mängel 2: mäßig geschädigter Baum: • Vitalität noch gut bis befriedigend • jedoch leichte bis mittelschwere Rinden und/oder Holzschäden (bis maximal 30% des Stammumfanges) • und/oder leichte Schiefstämigkeit • und/oder einseitige Krone • und/oder einzelne trockene Äste 3: schwer geschädigter Baum • größere / bedrohliche Rinde- und/oder Holzschäden • und/oder gefährliche Schiefstämigkeit • stark reduziertes Kronenvolumen • viele trockene Äste • und/oder Wipfeldürre • wesentliche Laubanomalien • Eingriffe in den Wurzelbereich bis an den Stamm 4: absterbender / abgestorbener Baum</p>
---	---	---	--

Abbildung 3.18: Schlüsselziffern Erfassungsbogen "Baumkataster"

Zusätzlich wurde ein Erfassungsbogen für Grünflächen entwickelt. Hierzu bildet der Objektabbildungskatalog (Tabelle 3.6) der NUTZERGEMEINSCHAFT ALK-GIAP (1995) die Grundlage.

Folie		Objektarten	
510	Anlagen und Wirtschaftsflächen	1100	Feuchtfläche
		1200	Freizeitanlage
		1300	Friedhof
		1400	Grünanlage
		1500	Landschaftsfläche
		1600	Plätze (Markt / Park ..)
		1700	Spielplatz
		1800	Sportplatz
		1900	Straßenbegleitgrün
		2000	Verkehrsfläche
		2100	Wald
		2200	Wasserflächen
		511	Vegetationsflächen
3100	Dachgrünfläche		
3200	Gehölzpflanzung		
3300	Hecke		
3400	Rasenflächen		
3500	Strauch, Einzelgehölz		
3600	Sukzessionsfläche		
512	Befestigte und unbefestigte Flächen	4000	Versiegelte Fläche
		4100	Unversiegelte Fläche
		4500	Sonderfläche
513	Versorgung, Entsorgung, Betriebsflächen	5100	Abfallstelle
		5200	Betriebsfläche
		5300	Bewässerung
		5400	Energieversorgung
		5500	Entwässerung
		5600	Gärtnerei
		5700	Lagerflächen
		5800	Beleuchtung
514	Bauliche Anlagen	6100	Abgrenzung
		6200	Freizeitbereich
		6300	Gebäude
		6400	Gestaltungsbereich
		6500	Sportbereich
		6600	Verkehrsbereich
515	Ausstattung allgemein	7000	Beschilderung
		7100	Baumschutz
		7200	Mobiliar
		7300	Mobiliar für Tiere
		7400	Rankhilfen
516	Ausstattung Friedhöfe	7500	Sportgeräte
		8000	Grabfelder

Tabelle 3.6: Foliengliederung und beispielhafte Objektarten des Objektabbildungskataloges (OSKA) für Grünflächenkataster der NUTZERGEMEINSCHAFT ALK-GIAP (1995)

Er ermöglicht die Einordnung der Grünfläche in einen Anlage- und Wirtschaftsflächentyp (Folie 510) und eine darauf aufbauende Charakterisierung ihrer Ausstattung mit Vegetationsflächen (Folie 511), befestigten und unbefestigten Wegen (Folie 512), den Ver- und Entsorgungseinrichtungen (Folie 513), baulichen Anlagen (Folie 514) sowie der allgemeinen Ausstattung (Folie 515 und 516).

Die Abbildung 3.19 zeigt den Erfassungsbogen für das Grünflächenkataster. Die lagemäßige Zuordnung und kartenmäßige Darstellung erfolgt ebenso wie beim Baumkataster durch eine der terrestrischen Inventur vorgelagerte Stereoluftbilddauswertung und deren Integration in das automatisierte Liegenschaftskataster. Im Gegensatz zur Erfassung des Baumbestandes wird bei Erhebungen für die Erstellung von Grünflächenkatastern mit Luftbildern aus Winterbefliegungen gearbeitet.

Vor Ort ist insbesondere für eine wirtschaftliche Betreuung und für die Auftragsvergabe die Zusammenfassung von Vegetationsflächen und Wegeflächen zu Pflegeeinheiten notwendig.

Eine Charakterisierung der Ausstattung der Grünflächen mit Ver- und Entsorgungseinrichtungen (Folie 513), baulichen Anlagen (Folie 514) sowie der allgemeinen Ausstattung (Folie 515 und 516) muß durch weitere, jeweils den konkreten Zwecken angepaßte Aufnahmebögen erfolgen. Der in der Abbildung 3.19 dargestellte Aufnahmebogen ermöglicht nur die Erfassung der Objektnummer und Objektart, die damit eine eindeutige Zuordnung herstellt.

Stadt: _____ Seite: _____
 Bezeichnung der Grünfläche: _____ Bearbeiter: _____
 Straße / Straßenabschnitt : _____ Datum: _____

Anlagen- und Wirtschaftsflächentyp (510): _____

511: Vegetationsflächen

Objekt- nummer	Objekt- art	Länge / Breite	Flächen- größe	Pflege- einheit	Pflege- intensität	Sonstige Maßnahmen

512: Befestigte und unbefestigte Wege

Objekt- nummer	Objekt- art	Länge / Breite	Flächen- größe	Pflege- einheit	Pflege- intensität	Sonstige Maßnahmen

513: Ver- und Entsorgung 514: Bauliche Anlagen 515: Allgemeine Ausstattung

Objekt- nummer	Objektart	Objekt- nummer	Objektart	Objekt- nummer	Objektart

Abbildung 3.19: Erfassungsbogen für das Grünflächenkataster