

4. Ergebnisse

4.1 Baum- und Grünflächeninformationssystem

Die Entwicklung des Baum- und Grünflächeninformationssystems wird entsprechend des *Database-Lifecycle*-Konzeptes (REINHARD, 1995) in fünf Phasen gegliedert und nachfolgend dargestellt. Die Phasen sind:

- die Informationsbedarfsanalyse,
- der konzeptuelle Datenbankentwurf,
- der logische Datenbankentwurf,
- der physische Datenbankentwurf und
- die Implementierung.

4.11 Informationsbedarfsanalyse

Die Informationsbedarfsanalyse, die die Anforderungen der Endnutzer an das zu realisierende System zu erheben und in strukturierter Form zu dokumentieren sucht, wird entsprechend der Literaturstudie und den Ergebnissen der von BEISCH und VON DER RECKE (1997) bei den bundesdeutschen Grünflächenämtern durchgeführten Umfrage erstellt.

Ein Baum- und Grünflächeninformationssystem soll dementsprechend

1. der Dokumentation der innerstädtischen Bäume und Grünflächen,
2. der Durchführung und Kontrolle ihrer sachgerechten Erhaltung und Pflege sowie
3. der Unterstützung raumplanerischer Maßnahmen (Bauleitplanung etc.)

dienen. Die Informationen zu den Bäumen und Grünflächen werden sowohl grünflächenamtsintern, verwaltungsmäßig intern als auch verwaltungsextern durch die Öffentlichkeit nachgefragt. Das Baum- und Grünflächeninformationssystem soll als Fachinformationssystem im Sinne des MERKIS-Konzeptes verstanden und entwickelt werden.

Die Inventur der innerstädtischen Bäume und Grünflächen bildet die Grundlage der

drei oben genannten Aufgabenbereiche. Die Inventur kann sowohl durch die Auswertung von Luftbildern, durch Begehungen, wie auch durch kombinierte Verfahren erfolgen. So müssen vom Informationssystem Methoden zur Integration, zur Kontrolle und zur Vorbereitung der Inventurverfahren bereitgestellt werden. Insbesondere die Entwicklung von Schnittstellen zu mobilen Datenerfassungsgeräten bzw. Luftbildauswertungsanlagen ist hierunter zu verstehen.

Für die Dokumentation der innerstädtischen Bäume und Grünflächen ist der geometrische Raumbezug, der auch im MERKIS-Anforderungskatalog genannt wird, notwendig. Der Raumbezug soll die Zuordnung der Bäume und Grünflächen zu Flurstücken und deren Eigentümern ermöglichen. Hierfür ist die Erfassung der geodätischen Koordinaten oder eine direkte Zuordnung zu einem Flurstück notwendig.

Für die Durchführung und Kontrolle einer sachgerechten Erhaltung und Pflege müssen im Informationssystem verschiedene Methoden zur Dokumentation der Maßnahmen eingebunden sein. Die Kontrolle muß eine Dokumentation im Sinne der Verkehrssicherung ermöglichen, das heißt, daß sowohl der Termin der Kontrolle, die festgestellten Mängel, wie auch die durchgeführten Maßnahmen erfaßt werden müssen.

Zusätzlich soll das Informationssystem Methoden zur Analyse der Pflegemaßnahmen bereitstellen. Sowohl der Erfolg der eingesetzten Verfahren, wie auch die Kosten sollen dokumentier- und analysierbar sein. Für die Baumpflege sollen zusätzlich Hinweise über die Eignung und Gefährdung verschiedener Baumarten bzw. Sorten gegeben werden können.

Die Unterstützung raumplanerischer Maßnahmen bedarf der kartographischen Darstellung der innerstädtischen Baum- und Grünflächenverteilung und der Implementierung verschiedener raumbezogener Analyseinstrumente. Deshalb ist die Integration der automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) in das Informationssystem von besonderer Bedeutung.

Für die Bereitstellung der Informationen an die verschiedenen "grünflächenexternen" kommunalen Verwaltungen soll das Informationssystem über verschiedene Datenexportmöglichkeiten verfügen. Im Sinne des MERKIS-Konzeptes muß ein Fach-

informationssystem Daten mit Hilfe der einheitlichen Datenbankschnittstelle (EDBS) bidirektional austauschen können.

4.12 Konzeptueller Datenbankentwurf

Der konzeptuelle Datenbankentwurf wird mit Hilfe des von REINHARD (1995) erweiterten *Entity-Relationship*-Modells von CHEN (1976) durchgeführt. Für die Entwicklung des Baum- und Grünflächeninformationssystemes wird im folgenden eine getrennte Darstellung der technischen und inhaltlich-fachlichen Komponenten erfolgen. Die technischen Komponenten dienen einerseits der Anbindung des Fachinformationssystems an das Kernsystem, wie es in Abbildung 2.11 auf Seite 30 dargestellt ist, andererseits der technischen Anbindung der Sachdatenbank an die Geodatenbank. Die inhaltlich-fachlichen Komponenten beschreiben die Struktur zur Integration der Baum- und Grünflächeninformationen.

4.121 Technische Komponente

Für den Aufbau eines Fachinformationssystems nach dem MERKIS-Konzept ist unter anderem der Datenaustausch zwischen dem Kern- und dem Fachinformationssystem mit Hilfe der einheitlichen Datenbankschnittstelle (EDBS) vorgesehen (STÖPPLER, 1990). Die Abbildung 4.1 zeigt einen kleinen Ausschnitt aus dem EDBS-Datensatz der automatisierten Liegenschaftskarte für Göttingen-Weende.

EDBS03120287AKND000000	0000ULQA00000001K9999	00001B
00XXXXXXXXXXXXAZZZZZZZAUFTRAGSKENNSATZ	GOETTINGEN	99
+0000000000+0000000000+000+000000000		
ASDLBE0005EQ	0080EDBS00640000BKRT000001	0000IBENKRT
35576513360600915819355766152681670938300214EDBS01980000BSPE000002		0000ULO8ALK
0001000135576514360600841710		
00020001355765143632908431201100010010233Z0000OEA0101YK0000000001355765143663808261801		
100020010233	Z0000OE 00010239Z0000N6	0 000000000134EDBS01180000BSPE0000003
0000ULO8ALK		0001000135576514363290843120
00010001355765143640808438701100010010233Z0000OEA0101YJ00000000000134EDBS01180000BSPE		000004
000004	0000ULO8ALK	0001000135576514364080843870
00010001355765143847328508101100010010233Z0000OEA0101Y620000000000157EDBS01410000BSP		E000005
E000005	0000ULO8ALK	0001000135576514366380826180
00010001355765143689508250101100020010233	Z0000OE 00010239Z0000N6	0 000000000157

Abbildung 4.1: Ausschnitt der EDBS Göttingen-Weende (Schlüsselworte sind hervorgehoben)

Dargestellt ist im Beispiel der Auftragskennsatz (AKND), der Datensatz des ‘‘Einbettrechteckes der gelesenen Daten‘‘ (BKRT) und verschiedene Datensätze zur ‘‘Benutzung und zum Lesen von Speichereinheiten‘‘ (BSPE). Der letztgenannte Datensatztyp ist der Träger der Informationen der ALK-Grundridatei.

Die EDBS ermöglicht einen objektstrukturierten Austausch von Geometrie- und Sachdaten. Die Abbildung 4.2 zeigt das entwickelte ER-Diagramm zur Speicherung der Datenstruktur der ALK-Grundridatei in einem relationalen Datenbanksystem.

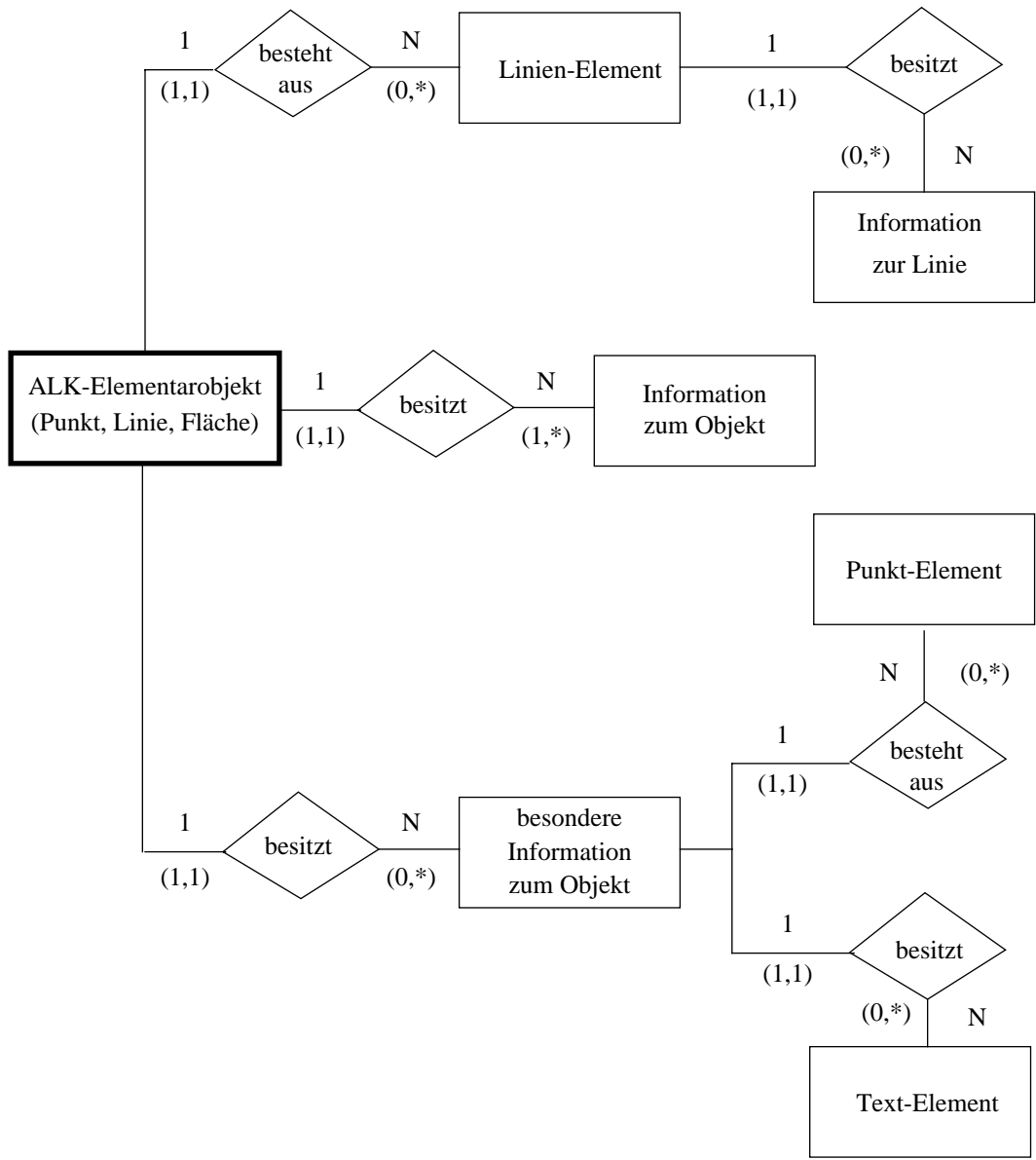


Abbildung 4.2: ER-Diagramm zur Speicherung der ALK-Grundridatei

In der ALK-Grundridatei werden für jedes Punkt-, Linien- oder Flächen-Objekt

Geometrien und Sachdaten gespeichert. Zusätzlich können jedem Objekt “besondere Informationen zum Objekt“ zugeordnet sein. Diese Informationen beschreiben einerseits die kartographische Ausgestaltung des Objektes, andererseits werden auch die Verweise zum automatisierten Liegenschaftsbuch (als Text-Element) verwaltet.

Die Anbindung der Sachdaten an die Geodatenbank erfolgt durch eine 1:N Relation zwischen den Geometrien der Geodatenbank und den Objekten der Sachdatenbank (Abbildung 4.3). Die Objekte der Sachdatenbank können hierbei von Typ ALK-, Baum- und Grünflächen-Objekt sein.

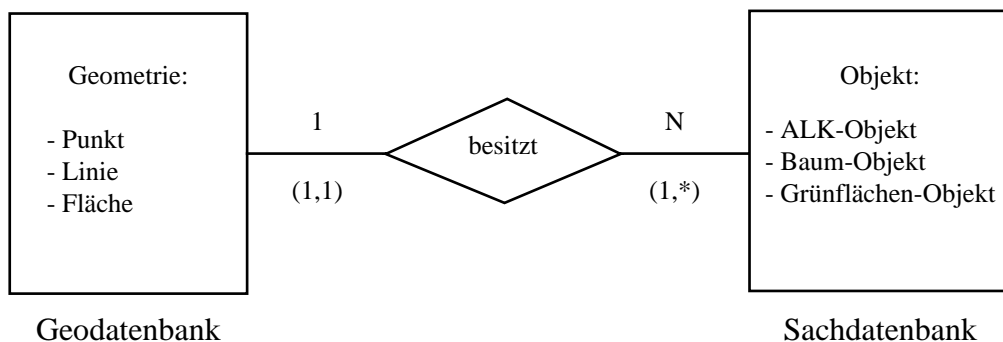


Abbildung 4.3: ER-Diagramm zur Verknüpfung von Geo- und Sachdatenbank

Die Geodatenbank im Geo-Informationssystem stellt hierbei die verschiedenen raumbezogenen Analyseinstrumente bereit.

4.122 Inhaltlich-fachliche Komponente

Die inhaltlich-fachliche Komponente beschreibt die Struktur zur Verwaltung von Baum- und Grünflächeninformationen. Die Abbildung 4.4 zeigt das ER-Diagramm für die Verwaltung von Bauminformationen.

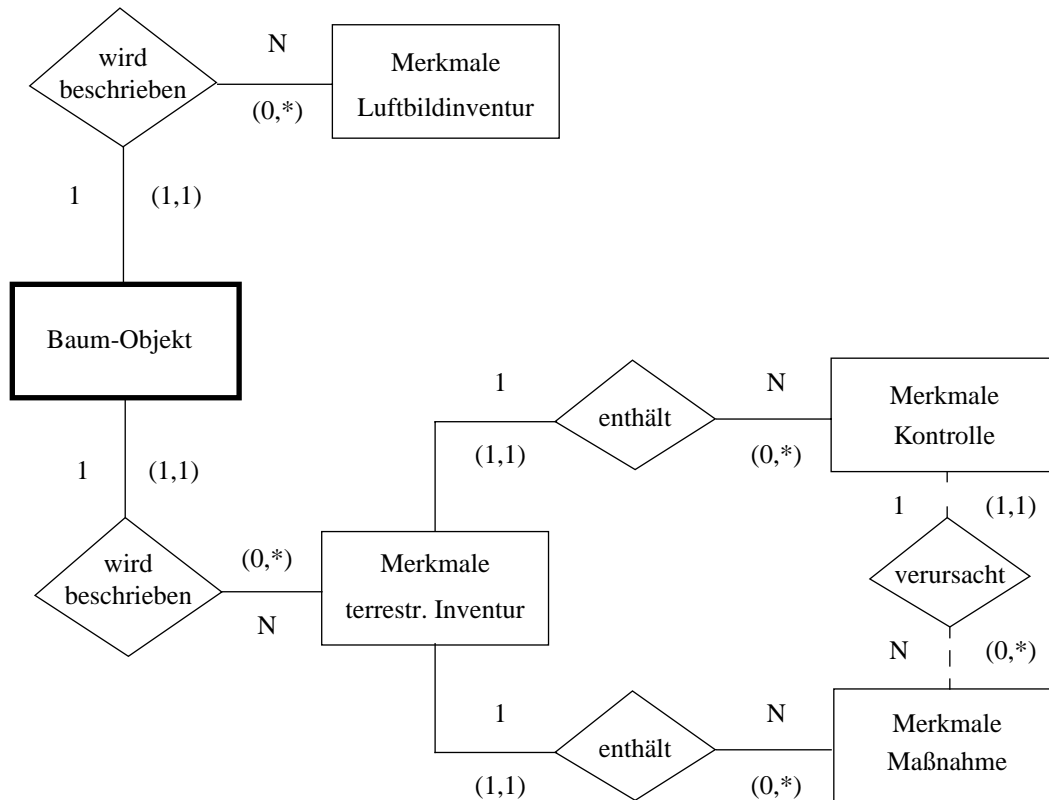


Abbildung 4.4: ER-Diagramm für die Baum-Verwaltung

Die Eigenschaften und Merkmale von Bäumen werden sowohl durch terrestrische wie auch durch Luftbildinventuren erfasst. Die erhobenen Merkmale bei der Luftbildinventur unterscheiden sich von den Merkmalen der terrestrischen Inventur. So können im Luftbild im wesentlichen Lageparameter der Krone sowie eine vereinfachte Arten- und Schadansprache durchgeführt werden. Bei der terrestrischen Inventur können hingegen detaillierte Informationen zum Standort, zur Schädigung an Wurzel, Stamm und Krone sowie zu den notwendigen Maßnahmen erfolgen. Die jeweils vorgesehene 1:N Relation zwischen der Baum-Objekt-Entität und den Inventur-Entitäten ermöglicht die Speicherung wiederholter Erfassungen und damit die Dokumentation der zeitlichen Entwicklung. Die durchgeführten Kontrollen sind als 1:N Relation jeweils der aktuellen terrestrischen Zustandserfassung zugeordnet. Die durchzuführenden Maßnahmen ergeben sich unmittelbar aus den Ergebnissen der Baumkontrolle. Sie werden daher ebenfalls als 1:N Relation zum jeweiligen Kontrolltermin in Bezug gesetzt.

Das ER-Diagramm für die Grünflächenerfassung und die Grünflächenverwaltung ist in der Abbildung 4.5 dargestellt.

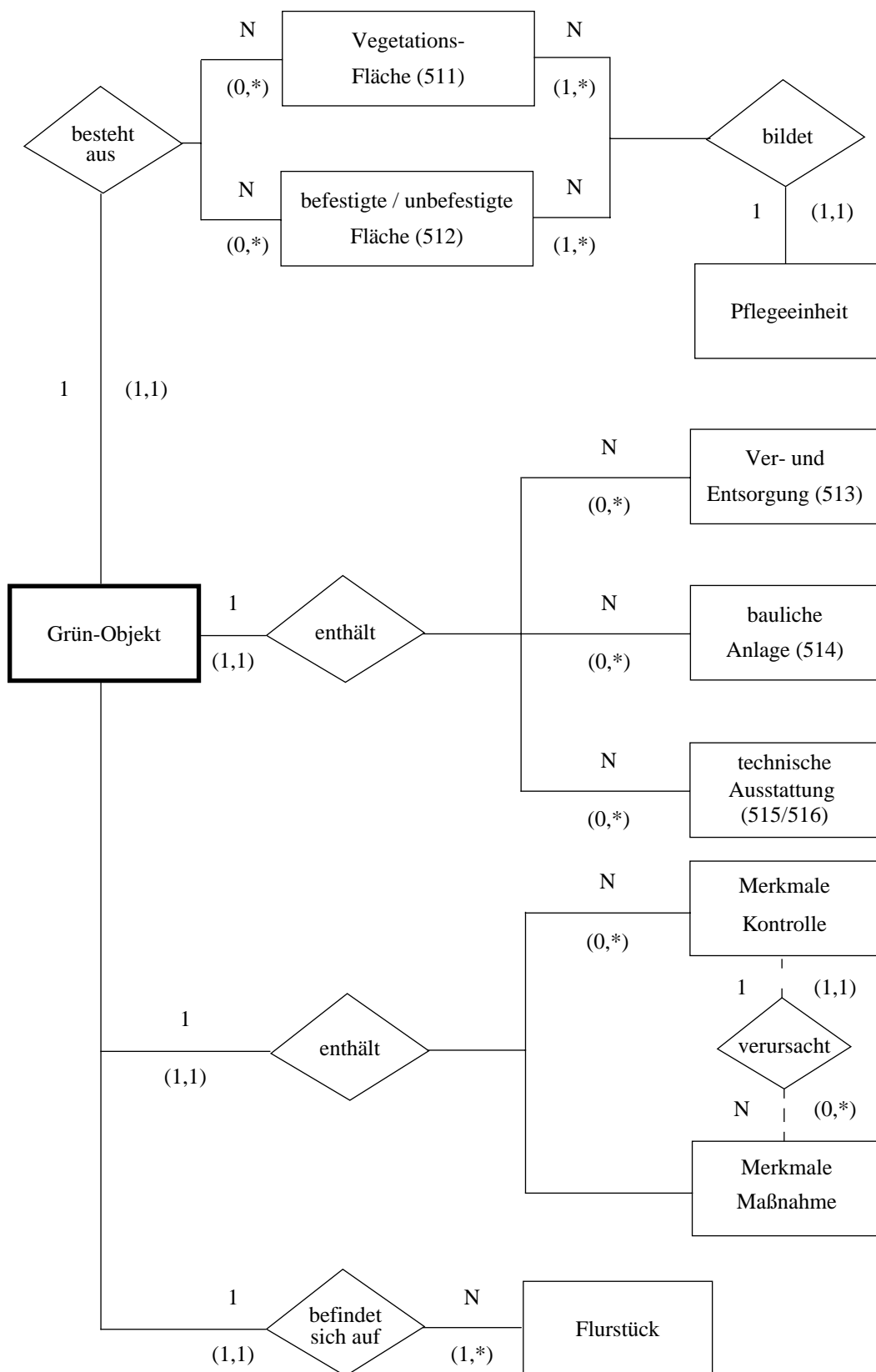


Abbildung 4.5: ER-Diagramm für die Grünflächen-Verwaltung

In Form von 1:N Relationen wird die Ausstattung der einzelnen Grünobjekte (z.B. Parkanlagen) mit Vegetationsflächen (Folie 510 des Objektabbildungskataloges für das Grünkataster der NUTZERGEMEINSCHAFT ALK-GIAP, 1995), befestigten und unbefestigten Flächen (Folie 511), Ver- und Entsorgungseinrichtungen, baulichen Anlagen (Folie 514) und der technischen Ausstattung (Folie 515 / 516) charakterisiert. Für die Pflege der Grünanlagen und die Anbindung an eine Kosten-/Leistungsrechnung können die Vegetationsflächen sowie die unbefestigten und befestigten Flächen zu Pflegeeinheiten zusammengefaßt werden (N:1 Relation).

Die Gegenüberstellung von Kontrollen und Maßnahmen dient bei den Grünflächen, wie auch bei den Bäumen, der Dokumentation im Sinne der Verkehrssicherungspflicht.

Da zum Beispiel eine Parkanlage mehrere Flurstücke umfassen kann, wird neben dem direkten räumlichen Bezug über die Koordinaten des umgrenzenden Randpolygons auch die Beziehung zu den einzelnen Flurstücken als 1:N Relation abgebildet.

4.13 Logischer und physischer Datenbankentwurf

Im logischen Datenbankentwurf wird die Datenbankentwicklungsumgebung und damit der Datenbanktyp festgelegt. Er soll im folgenden gemeinsam mit dem physischen Datenbankentwurf dargestellt werden. Die Entwicklung der Baum- und Grünflächeninformationssystemes erfolgt mit dem relationalen Datenbankprogramm *4th Dimension* der Firma ACI. Als Geodatenbank wird das Programm *MapGrafix* der Firma Comgrafix⁹ eingesetzt.

Die Struktur und die Methoden der Datenbank werden getrennt für die ALK-, die Baum- und die Grün-Objekte entwickelt. Über eine eindeutige Identifikationsnummer (ID) wird der Bezug zur Geodatenbank hergestellt. Die Abbildung 4.6 zeigt die Struktur zur Speicherung der ALK-Objekte.

9. Das Programm *MapGrafix* zählt zu den *Desktop-Mapping*-Systemen.

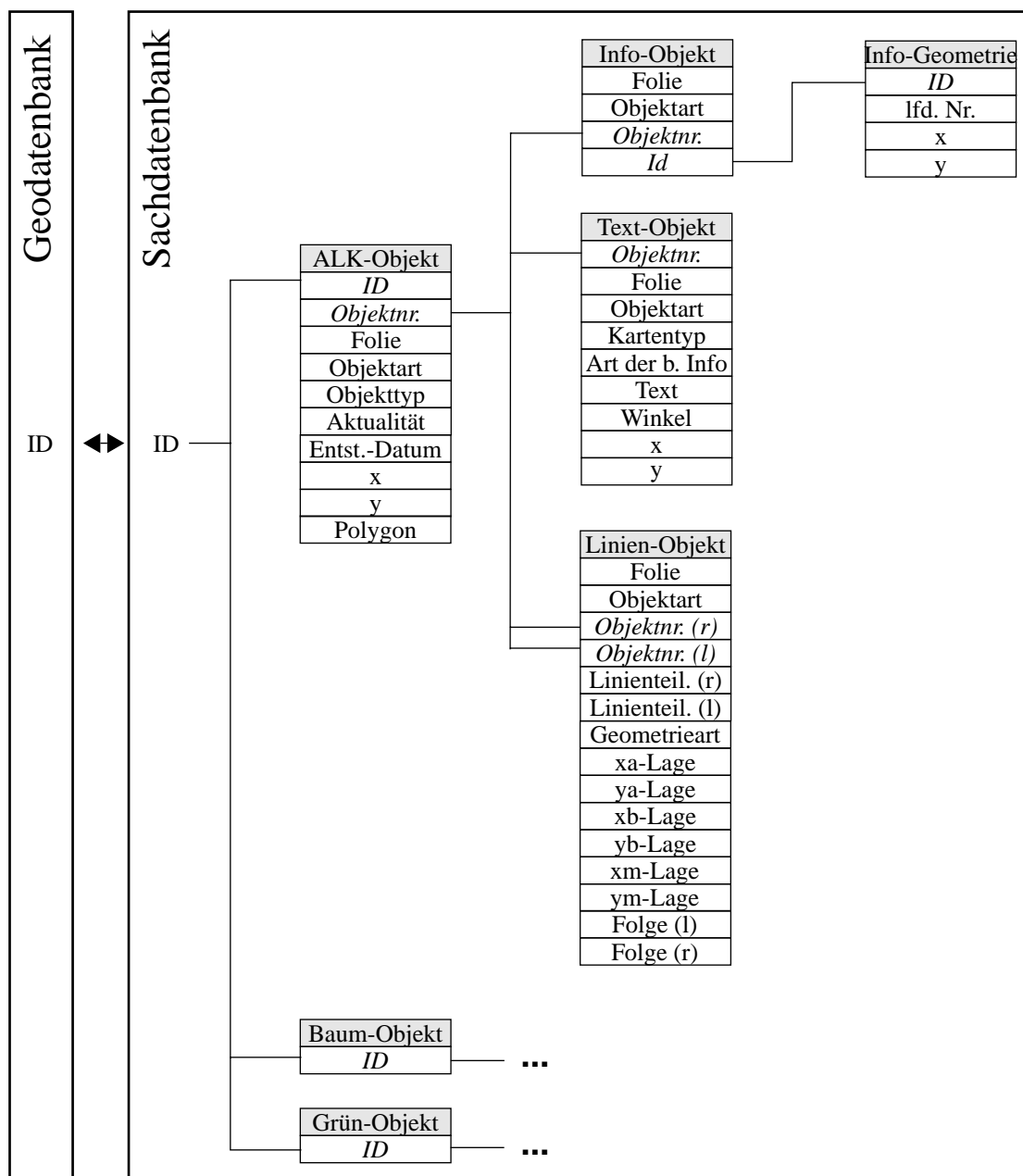


Abbildung 4.6: Datenbankschema für die ALK-Objektverwaltung im Baum- und Grünflächen-Informationssystem (grau = Tabellenbezeichnungen; kursiv = indizierte Felder)

Zur Umsetzung der im EDBS-Datenformat gespeicherten Informationen der automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) wurden parallel zur Datenbankstruktur Methoden

- zum Import,
- zur Objektbildung und
- zum Export der Geometriedaten zur Geodatenbank entwickelt.

Die ALK- Objekte können mit einem relationalen Datenbanksystem durch fünf miteinander verbundene Tabellen vollständig geometrisch und inhaltlich erfaßt und gespeichert werden. Die Tabelle der "ALK-Objekte" bildet hierbei den Kern. In ihr werden die Attribute (Folie, Objektart, Entstehungsdatum und Aktualität) zu den Punkt-, Linien- und Flächenobjekten, den möglichen Objekttypen, gespeichert. Je nach Objekttyp und Folien-Objektarten-Kombination enthält das ALK-Objekt Linien-elemente bzw. besondere Informationen zum Objekt. Der Bezug zu den Tabellen "Info-Objekt", "Text-Objekt" und "Linien-Objekt" erfolgt über eine für das jeweilige Bundesland eindeutige Objektnummer.

Für die punktförmigen Objekte wird der geometrische Bezug durch die Angabe der x- und y-Koordinate in der Tabelle "ALK-Objekt" hergestellt. Dieser Lagebezug kann für die linien- und flächenförmigen Objekte als sogenannter Flächenstützpunkt genutzt werden. Da er jedoch nicht immer auf der Linie bzw. innerhalb der Fläche liegt, werden die Objekte nicht durch einfache Punkt-in-Fläche bzw. Punkt-auf-Linie Algorithmen erzeugt. Vielmehr werden zur Objektbildung die über die Objektnummer relational verbundenen Polygonlinienstücke der "Linien-Objekt"-Tabelle rekursiv zu einem offenen bzw. geschlossenen Polygonzug verbunden. Durch diese Methode wird auch das Auftreten sogenannter Flächenstützpunkt-Fehler verhindert. Die Geometrie der Polygonlinienstücke wird durch die Angaben des Linienanfangs- (x_a, y_a), des Linienend- (x_b, y_b) und möglicher Linienstützpunkte (x_m, y_m) für die Bildung von Kreisbögen bzw. Splines in der Tabelle "Linien-Objekt" dargestellt.

Die Geometrien der besonderen Informationen zum Objekt, die die kartographische Objektausgestaltung beschreiben, werden in der EDBS-Datei als zusammenstehende Punktfolgen abgelegt, so daß im relationalen Datenbankentwurf die Speicherung der Geometrie durch die Lage der Punkte und ihre Reihenfolge in der Tabelle "Info-Geometrie" möglich ist. Die Beschriftung der automatisierten Liegenschaftskarte wird durch die Angabe des Schrifttextes, der Lage (x, y) und der Textausrichtung (Winkel) gespeichert. Die Textausgestaltung wird mit dem Kartentyp festgelegt.

Die beschriebene Datenbankstruktur erfüllt die erste bis dritte Normalform und ermöglicht eine redundanzfreie Speicherung.

Die Abbildung 4.7 zeigt die Datenbankstruktur für die Baum-Objektverwaltung.

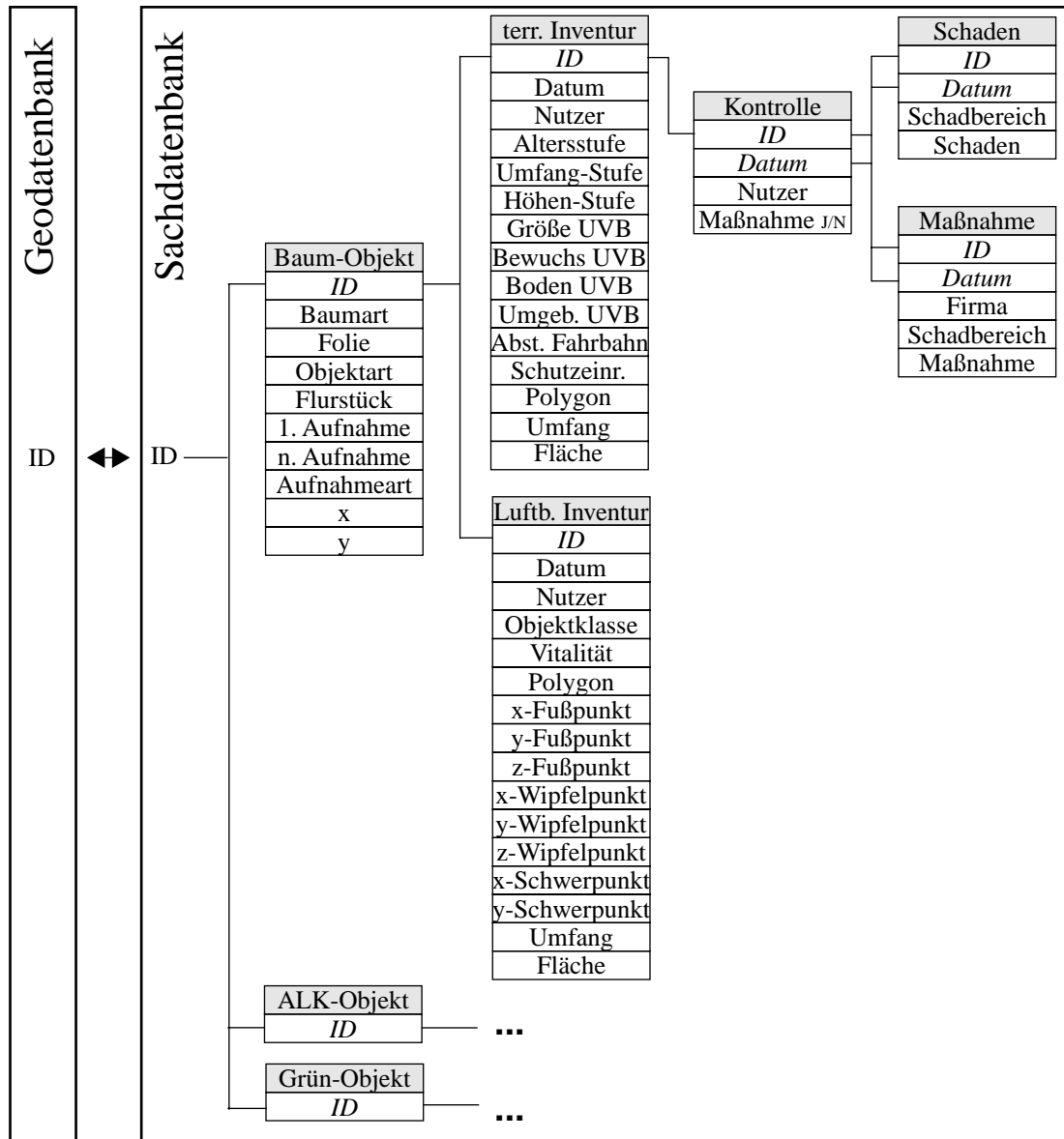


Abbildung 4.7: Datenbankschema für die Baum-Objektverwaltung im Baum- und Grünflächen-Informationssystem (grau = Tabellenbezeichnungen; kursiv = indizierte Felder; UVB = unversiegelter Bereich)

Im logischen Datenbankentwurf kann das ER-Diagramm für die Speicherung der Baum-Objekte durch sechs relational miteinander verbundene Tabellen umgesetzt werden. Die Verbindung der “Baum-Objekt“-Tabelle zu den Tabellen “terr. Inventur“ und “Luftb.-Inventur“ erfolgt zur Speicherung wiederholter Aufnahmen als 1:N Relation. Die Tabelle “Baum-Objekt“ enthält alle unveränderbaren Informationen. In der Tabelle “terr. Inventur“ werden selten zu ändernde Merkmale erfaßt. Die Tabelle “Kontrolle“ und die damit verbundenen Tabellen “Schaden“ und “Maßnahme“ dienen

zur Dokumentation der Erfassung der Schädigung und der getroffenen Maßnahmen zur Schadbeseitigung im Sinne der Verkehrssicherungspflicht. Bei den Aufnahmen werden neben dem Datum der Erfassung jeweils auch die kontrollierende Person (Nutzer) registriert. Die Datenbankstruktur erfüllt die erste bis dritte Normalform und ermöglicht eine redundanzfreie Speicherung der Baum-Objekte.

Zur Erhaltung der Datenintegrität und Datenkonsistenz wird die Dateneingabe durch Prüfalgorithmen überwacht. Bei vorgegebenen Eingabemöglichkeiten erfolgt die Zuordnung der textlich beschreibenden Baum-Merkmale durch sogenannte Auswahllisten.

Um den geometrischen Bezug der Baum-Objekte zu den Flurstücken in der Sachdatenbank zu ermöglichen, wurde eine Methode zur "Punkt-in-Fläche" Verschneidung in das Baum- und Grünflächeninformationssystem integriert. Diese Methode ordnet jedem Baum ohne Bezug auf die Geodatenbank das zugehörige Flurstück und damit auch die Zugehörigkeit zur Straße aus der Tabelle "ALK-Objekt" zu.

Die Tabellenstruktur zur Speicherung der Grün-Objekte, die in Abbildung 4.8 dargestellt ist, läßt sich anhand von vier Teilbereichen gliedern:

1. Tabellen zur Nutzung
2. Tabellen zur Beschreibung der technischen Ausstattung
3. Tabellen zur Verwaltung des Bezugs zu den Flurobjekten
4. Tabellen zur Dokumentation der Kontrollen und Maßnahmen in Sinne der Verkehrssicherungspflicht

Ausgehend von der Haupttabelle "Grün-Objekt" wird jeweils eine 1:N Relation zu den Tabellen "Nutzung", "Ausstattung", "Kontrolle" und "Flurbezug" hergestellt.

Die Tabelle "Grün-Objekt" liefert grundlegende Informationen zur Art der Grünfläche (hier verschlüsselt als Folie und Objektart), zur Lage der Grünfläche und zur Dokumentation ihrer Kontrolle (Entstehungsdatum, letzte Kontrolle, Durchführung der Erfassung).

Zur Speicherung der Angaben über die Vegetationsflächen (Folie 511) und die

befestigten und unbefestigten Flächen (Folie 512) dient die Tabelle "Nutzung". Da ein Grün-Objekt, z.B. eine Parkanlage, aus einer oder mehreren Vegetationsflächen gebildet wird, erfolgt die Anbindung als 1:N Relation an die Tabelle "Grün-Objekt".

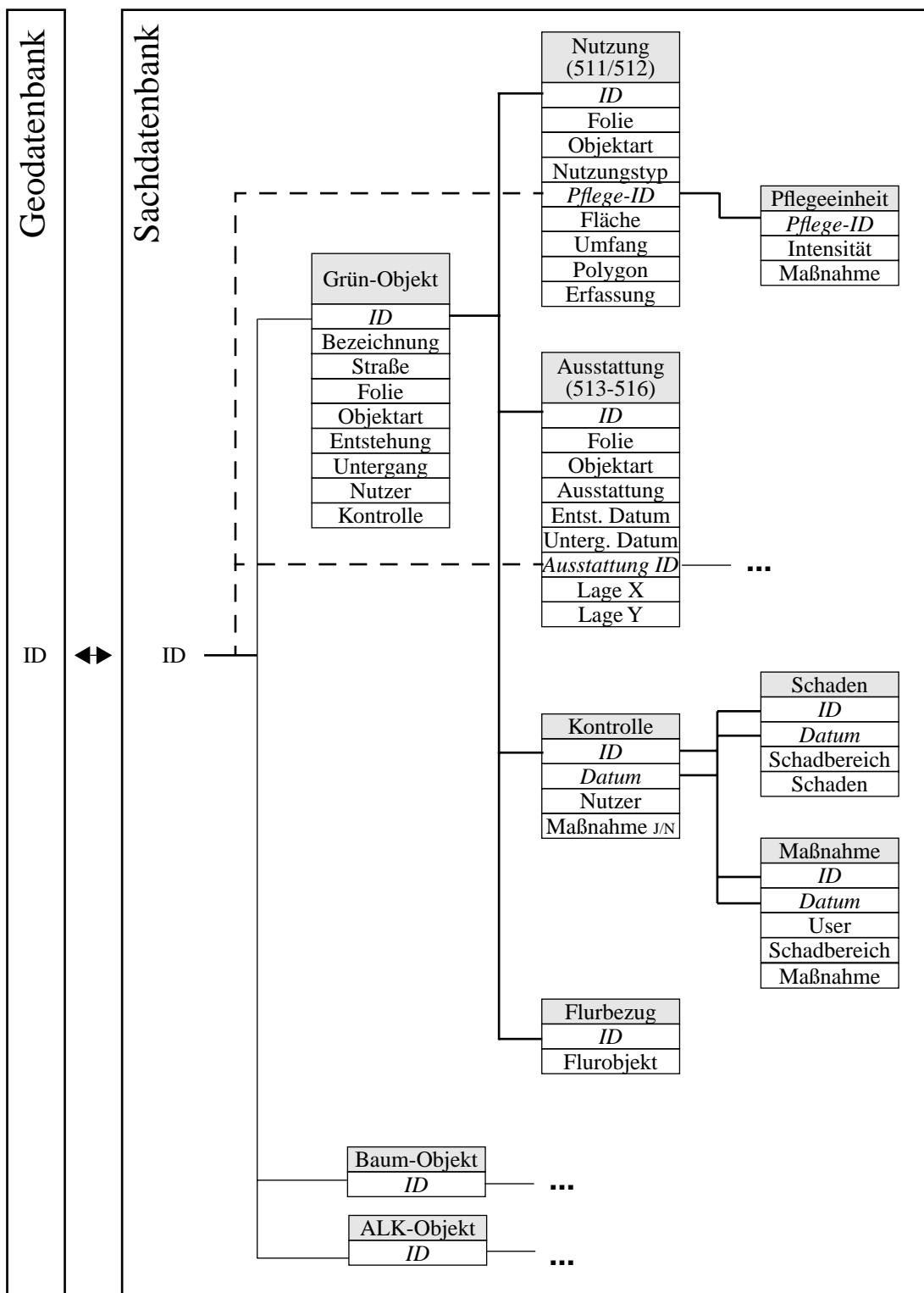


Abbildung 4.8: Datenbankschema für die Grün-Objektverwaltung im Baum- und Grünflächen-Informationssystem (grau = Tabellenbezeichnungen; kursiv = indizierte Felder)

Zu den einzelnen Nutzungsflächen werden Angaben zur Art der Nutzung (Folie und Objektart), zur Größe und zur Erfassung gemacht. Für die Pflege ist eine Zuordnung jeder einzelnen Nutzungsfläche zu einer Pflegeeinheit notwendig. Da eine Pflegeeinheit jedoch aus einer oder mehreren Nutzungsflächen, die unter Umständen sogar verschiedenen Grün-Objekten zuzuordnen sind, bestehen kann, werden Angaben zur Art und Intensität der Pflege in der Tabelle "Pflegeeinheit" verwaltet.

Die Informationen zur technischen Ausstattung sind wiederum in der Folie und der Objektart verschlüsselt. Da jedoch für die verschiedenen technischen Ausstattungsmöglichkeiten, von Ver- und Entsorgungseinrichtungen bis hin zu spezieller Ausstattung von Friedhöfen, individuell angepaßte Informationen erhoben werden, ist über das Feld "Ausstattungs-ID" ein Bezug zu weiteren Tabellen möglich. Hierüber wird auch der Bezug zu den innerhalb des Grün-Objektes vorhandenen Baum-Objekten hergestellt.

Die Verwaltung der Daten, die die Kontrolle der Flächen dokumentieren, erfolgt entsprechend der Baum-Verwaltung, so daß in der Datenbank diese Tabellen nur einmalig abgelegt sind.

Der Bezug zu den das Grün-Objekt bildenden Flurobjekten wird durch eine 1:N Relation zur Tabelle "Flurobjekt" ermöglicht und damit der Bezug zum automatisierten Liegenschaftskataster hergestellt.

Im Gegensatz zur Verwaltung der Baumobjekte können neben dem Grün-Objekt auch die Nutzungsflächen und die Ausstattung des Grün-Objektes einen Raumbezug besitzen. Dies ist in der Abbildung 4.8 durch die gestrichelten Linien dargestellt und über die Vergabe einer eindeutigen Identifikationsnummer realisiert.

Die Struktur der Datenbank erfüllt die erste bis dritte Normalform und ermöglicht so eine redundanzfreie Speicherung.

Für den Import von den Luftbildauswerte- und mobilen Datenerfassungsgeräten sowie den Export der Geometrien zur Geodatenbank sind Methoden des automatischen Datenaustausches (Schnittstellen) implementiert. Darüber hinaus ist die vollständige

Ausgabe der Baum- und Grün-Informationen im EDBS-Datenformat möglich.

Die Sicherung der Datenintegrität erfolgt durch Plausibilitätskontrollen in den Eingabelayouts und eine Zuweisung von Auswahllisten für die Feldeingabe variabler Textfelder der Baum- und Grünflächenobjekte. Zusätzlich wird bestimmten Nutzergruppen individuell ein Lese- und Schreibzugriffsrecht zugewiesen. Die Tabelle 4.1 zeigt für die Nutzergruppen Grünflächenamt, andere Fachbehörden und Bürger die Zugriffsrechte zur Verwaltung der ALK-, Baum- und Grün-Objekte.

		Datenbankadministration (Grünflächenamt)	Datenbankeingabe (Grünflächenamt)	Datenbankabfrage (Grünflächenamt)	andere Fachverwaltungen	Bürger
ALK-Verwaltung	Import EDBS	LS				
	Konvertierung EDBS	LS				
	Objektbildung	LS				
	Darstellungstabellen	LS	L	L	L	L
	Export zur Geodatenbank	LS				
Baum-Verwaltung	Import (Luftbilddauswertung)	LS	LS			
Grün-Verwaltung	Import (Feldaufnahme)	LS	LS			
	Export zur Geodatenbank	LS	LS			
	Export (EDBS)	LS				
	Darstellungstabellen	LS	LS	L	L	L
	Abfragen	LS	LS	LS	L	L
	Berichterstellung	LS	LS	LS	L	

Tabelle 4.1: Datenbankzugriffsverwaltung für das Baum- und Grünflächen-Informationssystem (L = Lesezugriffsrecht; S = Schreibzugriffsrecht)

Die Institutionen außerhalb des Grünflächenamtes besitzen für Abfragen ein Lesezugriffsrecht. Sie haben damit die Möglichkeit, den aktuellen Erfassungsstand des Baum- und Grünflächenkatasters einzusehen. Zur Beurteilung der angebotenen Informationen werden für diese Abfragemöglichkeiten sogenannte Metainformationen im Sinne von Informationen über die Art und die Vollständigkeit der Erfassung bereitgestellt. Für den Aufgabenbereich des Grünflächenamtes wird zwischen Datenbankadministrations-, Datenbankeingabe- und Datenbankabfragestellen unterschieden.

Im Aufgabenbereich der Datenbankadministration sind alle Handlungen zusammengefaßt, die zum Aufbau des Baum- und Grünflächeninformationssystems notwendig sind. Hierbei steht die Bereitstellung der automatisierten Liegenschaftskarte (Import EDBS, Konvertierung EDBS, Objektbildung, Export zur Geodatenbank) als einheitliche geometrische Bezugsbasis im Vordergrund. Die Verwaltung der Informationen zu den Baum- und Grünflächen erfolgt durch die Dateneingabestellen im Grünflächenamt. Die Abgabe dieser Informationen als EDBS-Datei an andere Behörden bzw. externe Planungsbüros kann nur durch den Datenbankadministrator erfolgen.

4.14 Implementierung

Unter dem Begriff Implementierung wird die Überführung der Entwurfsergebnisse in Programme, die auf einem bestimmten Zielrechner ausführbar sind, verstanden.

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Baum- und Grünflächeninformationssystem *Arboretum urbanum* wurde für das *Apple Macintosh* Betriebssystem (MacOS) entwickelt. Es besteht aus zwei Komponenten, der Geodatenbank und der Sachdatenbank (Abbildung 4.9).

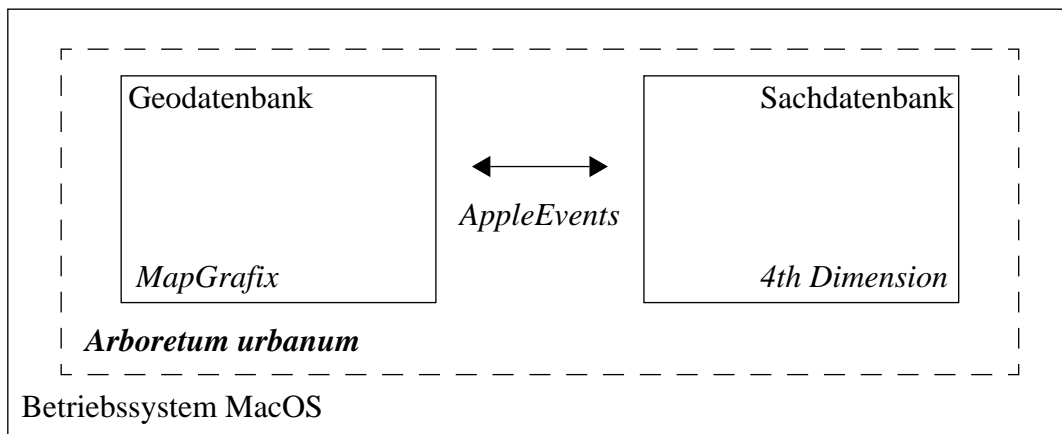


Abbildung 4.9: Komponenten des Baum- und Grünflächeninformationssystems *Arboretum urbanum*

Die Kommunikation zwischen der Geo- und der Sachdatenbank erfolgt ereignisorientiert über *Apple-Events*, dies sind Betriebssystembefehle, die es ermöglichen, daß sich Anwendungsprogramme gegenseitig Kommandos und Daten senden (BAUER und GUMPEL, 1997). In der Geodatenbank *MapGrafix* ist diese Möglichkeit standardmäßig

implementiert, die auf der relationalen Datenbankentwicklungsumgebung *4th Dimension* basierende Sachdatenbank wurde durch ein entsprechendes Modul¹⁰ ergänzt.

Die Sachdatenbank kann auch isoliert von der Geodatenbank genutzt werden, so daß beispielhaft entsprechend der Gliederung von BILL und FRITSCH (1991) in einem kommunalen Grünflächenamt Arbeitsplätze

- mit geometrischer, topologischer und attributiver Abfragemöglichkeit sowie
- mit ausschließlich attributiver Abfragemöglichkeit

eingerrichtet werden können. Da die Datenbankentwicklungsumgebung eine *Client-Server*-Architektur unterstützt, können innerhalb einer Installation auch Arbeitsplätze verschiedener Abfragemöglichkeiten kombiniert werden.

Die Abbildung 4.10 zeigt die Struktur und das Ablaufdiagramm des Baum- und Grünflächeninformationssystems *Arboretum urbanum*.

Die vom Liegenschaftsamt erhobenen ALK-Daten werden im Format der einheitlichen Datenbankschnittstelle (EDBS) importiert und in Grundgeometrien sowie dazugehörige Attribute zerlegt. Entsprechend dem Objektschlüsselkatalog (ALK-OSKA) werden zusätzlich zu den Punktelementen aus den Linienstücken Linien- und Flächenelemente gebildet.

Die Baum- und Grünflächendaten werden vom Grünflächenamt durch terrestrische oder Luftbild-Kartierung erhoben und mit den Geometrien und Sachdaten in das Baum- und Grünflächeninformationssystem importiert. Durch räumliche Punkt-in-Fläche-Verschneidungen wird für jedes Baum-Objekt in der Sachdatenbank automatisch der geometrische Bezug zu den ALK-Objekten (Flurstücke) und zu den Grün-Objekten (Grünanlagen) hergestellt. Der Import der Baum- und Grünflächendaten erfolgt wiederholt im Anschluß an jede Kontrolle sowie Neukartierung.

Die Sachdatenbank enthält nach Abschluß des Importes die Geometrien und Sachdaten aller ALK-, Baum- und Grünobjekte. Zum erstmaligen Aufbau der Geodatenbank

10. Das "System 7Pack" der Firma Isis-International konnte nach entsprechender Abänderung des Binär-Codes eingesetzt werden.

erfolgt der Export der Geometrien für alle Objektarten durch die Erzeugung des *Comgrafix Data Exchange*- Formates.

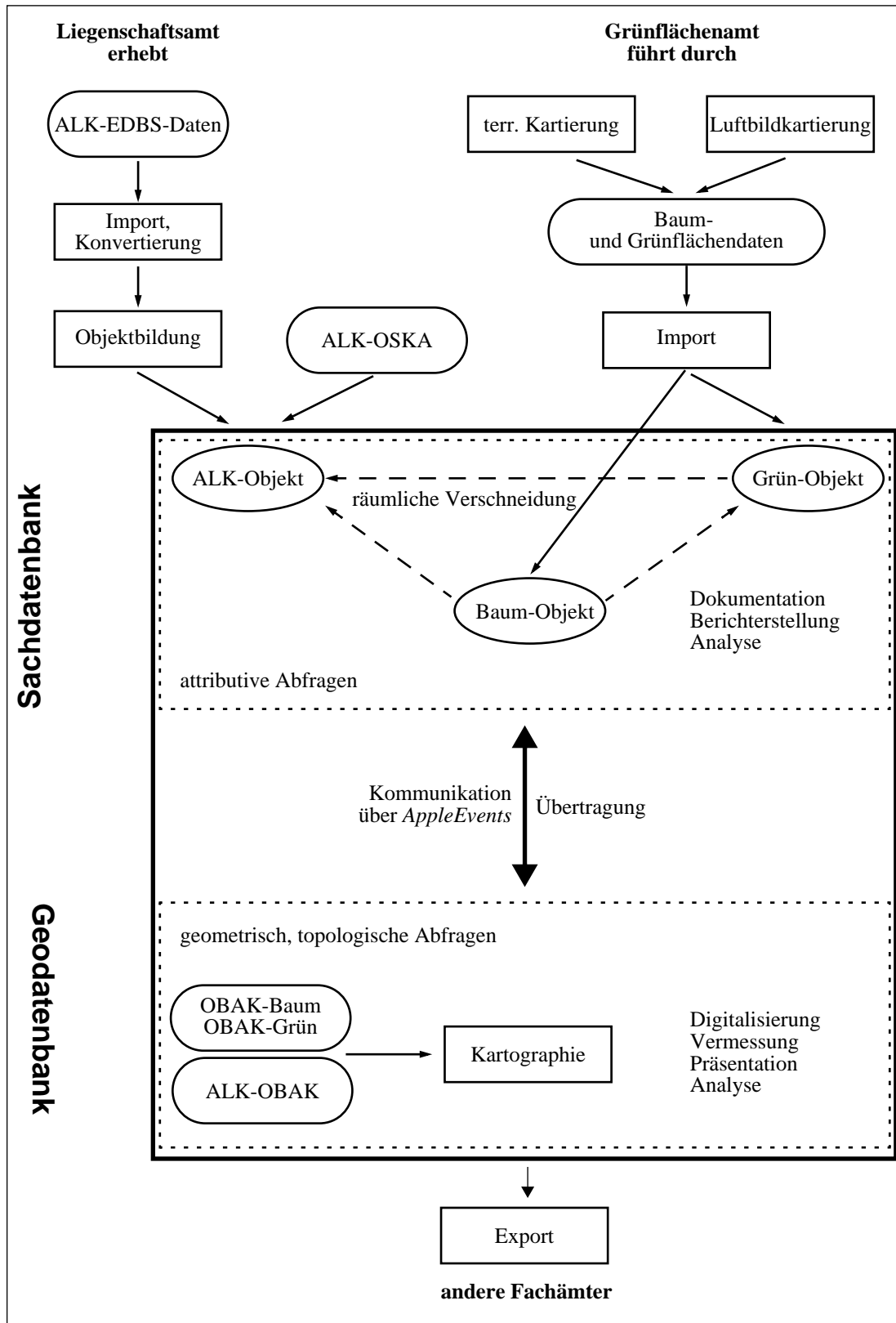


Abbildung 4.10: Struktur und Ablaufdiagramm des entwickelten Baum- und Grünflächeninformationssystems *Arboretum urbanum*

Das *Comgrafix Data Exchange*-Format ist ein ASCII-Textformat, das Informationen zur Geometrie und zur kartographischen Ausgestaltung beinhalten kann. Für die Darstellung in der Geodatenbank werden die Vorschriften des Objektabbildungskataloges (OBAK) zu Grunde gelegt, sie sind in der Sachdatenbank integriert und werden mit den Geometrien an die Geodatenbank übertragen.

Nach Abschluß der Datenintegration können sowohl räumlich-visuell in der Geodatenbank vorgenommene Abfragen in der Sachdatenbank analysiert werden, als auch attributive Abfragen an die Sachdatenbank von der Geodatenbank visualisiert werden.

Um eine konsistente Datenhaltung in der Sachdatenbank zu gewährleisten, werden Veränderungen in der Geodatenbank, die z.B. durch Neuerfassung (Digitalisierung), Änderungen bestehender Geometrien oder Attribute sowie Löschen von Geometrien entstehen, direkt an die Sachdatenbank übertragen. In der Sachdatenbank ist damit ständig der aktuelle Datenbestand für alle Nutzer verfügbar.

Zur Charakterisierung des Datenumfanges ist in der Tabelle 4.2 beispielhaft für das Untersuchungsgebiet Göttingen Weende die Anzahl der in der Sachdatenbank für die ALK zu verwaltenden Objektinformationen aufgeführt.

Objektgruppe	Objekttabellen	Anzahl Objekte
ALK	ALK-Objekte	9277
ALK	Linie-Objekte	42973
ALK	Text-Objekte	4629
ALK	Info-Objekte	15017
ALK	Info-Geometrien	26181

Tabelle 4.2: Anzahl von ALK-Objekten in der Sachdatenbank (Gliederung entsprechend dem Datenbankschema in Abbildung 4.6 auf Seite 87)

4.141 Module des Programmes- *Arboretum urbanum*

Das Programm *Arboretum urbanum* besitzt einen modularen Aufbau. Thematisch zusammengehörende Bereiche - ALK-Daten, Baumdaten und Grünflächendaten - werden in getrennten Modulen unter einer gemeinsamen fensterorientierten Oberfläche

(Windows) verwaltet. Zusätzlich zu diesen inhaltlich thematischen Modulen wird in einem weiteren Modul die Kommunikation mit der Geodatenbank gesteuert. Die Abbildung 4.11 zeigt anhand der Palettenfenster ikonisch die Module zur Verwaltung der ALK-, Baum-, und Grünflächendaten.

		ALK-Datenverwaltung:			
A1		(A1) Bereichsdefinition			
		(A2) Listendarstellung			
A2		(A3) Suchgenerator			
		(A4) EDBS-Import			
A3		(A5) EDBS-Konvertierung			
		(A6) EDBS-Objektbildung			
A4		(A7) Export			
A5					
A6					
A7					
		Grünflächen-Datenverwaltung:			
		Listendarstellung (G1)		G1	
		Suchgenerator (G2)		G2	
		Berichterstellung (G3)		G3	
		Übersichtskartengenerator (G4)		G4	
		Pflegeeinheitenverwaltung (G5)		G5	
		Import (G6)		G6	
		Export (G7)		G7	
		Baum-Datenverwaltung:			
B1		(B1) Listendarstellung			
B2		(B2) Suchgenerator			
B3		(B3) Berichterstellung			
B4		(B4) Übersichtskartengenerator			
B5		(B5) Import			
B6		(B6) Export			

Abbildung 4.11: Module zur Verwaltung der ALK-, Baum-, und Grünflächendaten

Im folgenden soll beispielhaft die Programmstruktur für die Verwaltung der Baumdaten mit dem Programm *Arboretum urbanum*¹¹ erläutert werden.

Die Datenverwaltung für ein Baumobjekt wird beginnend mit einer Abfrage anhand der Ein- und Ausgabemasken dargestellt und erläutert. Die Abbildung 4.12 zeigt den Suchgenerator.

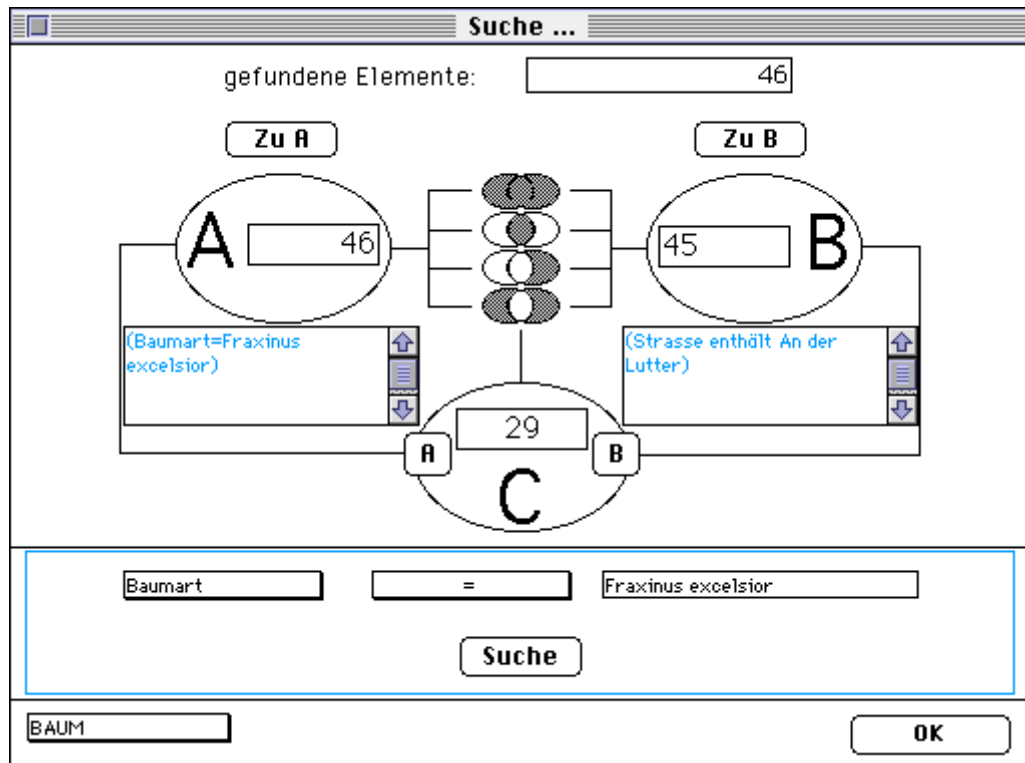


Abbildung 4.12: Suchgenerator der Baum-Datenverwaltung

Als Anfrage an den Datenbestand sollen in diesem Beispiel alle an der Straße “An der Lutter“ erhobenen Bäume der Art “Fraxinus excelsior“ angezeigt werden. Der Suchgenerator arbeitet mengenorientiert. Mengenorientiert bedeutet in diesem Zusammenhang, daß der Nutzer wiederholend einfache, in Form von Gleichungen formulierte Anfragen an den Datenbestand stellen und wahlweise die Ergebnismenge der Anfrage in den Mengen “A“ und “B“ verwalten kann. Durch die Bildung von Schnittmengen, Vereinigungsmengen und Differenzmengen kann auf diese Weise jede beliebig komplexe Abfrage formuliert werden. Im Beispiel befinden sich in der Menge “A“ alle Bäume (46) der Art “Fraxinus excelsior“ und in der Menge “B“ alle Bäume (45), die “An der Lutter“ stehen. Die Menge “C“ stellt die Schnittmenge und damit das Ergebnis

11. *Arboretum urbanum* besitzt für alle Module vergleichbare Datenverwaltungsroutinen.

der formulierten Abfrage dar. Insgesamt erfüllen 29 Bäume die vorgegebenen Kriterien. Sie sind in Abbildung 4.13 als Liste dargestellt.

Die Listendarstellung beinhaltet für jeden Baum die Identifikationsnummer (ID), die Baumart und das Flurobjekt auf dem der Baum steht. Die ID wird vom Programm automatisch vergeben. Sie dient innerhalb der Programmmodule und in Verbindung mit der

ID	Baumart	FlurObjekt
BAUM_5412	Fraxinus excelsior	A0103YX
BAUM_5409	Fraxinus excelsior	A0103YX
BAUM_5406	Fraxinus excelsior	A0103YX
BAUM_5404	Fraxinus excelsior	A0103YX
BAUM_5402	Fraxinus excelsior	A0103YX
BAUM_5401	Fraxinus excelsior	A0103YX
BAUM_5293	Fraxinus excelsior	A0103YX
BAUM_5292	Fraxinus excelsior	A0103YX
BAUM_5266	Fraxinus excelsior	A0103YX
BAUM_9407	Fraxinus excelsior	A0103WT
BAUM_9406	Fraxinus excelsior	A0103WT
BAUM_5411	Fraxinus excelsior	A0103WT
BAUM_5410	Fraxinus excelsior	A0103WT
BAUM_5407	Fraxinus excelsior	A0103WT
BAUM_5403	Fraxinus excelsior	A0103WT
BAUM_5400	Fraxinus excelsior	A0103WT
BAUM_5399	Fraxinus excelsior	A0103WT
BAUM_5398	Fraxinus excelsior	A0103WT
BAUM_5294	Fraxinus excelsior	A0103WT
BAUM_5290	Fraxinus excelsior	A0103WT
BAUM_5268	Fraxinus excelsior	A0103WT

Abbildung 4.13: Listendarstellung der Datenbankanfrage

Geodatenbank zur eindeutigen Verwaltung der Baumobjekte.

Aus dieser Liste ist der Baum mit der Nummer “Baum_5401“ exemplarisch ausgewählt worden. Die Abbildung 4.14 zeigt die Eingabemaske für die Baumstammdatenverwaltung.

Baumstammdaten

Baumart: Fraxinus excelsior
 Baumnr: BAUM_5401

Folie: 525 Entstehung: 22.04.1997
 Ort: 3201 Änderung: 16.09.1996
 Flurstück: A0103YX Bearbeiter: ΔCaroline von der Recke

Lage (x): 3565076,7 QuelleLage: Luftbild-Fusspunkt
 Lage (y): 5713998,2 Strasse: An der Lutter

Baumdimensionen:
 Alter: 2
 Umfang: 83
 Höhe: 2
 Aufnahme: 16.09.96

Baumstandort (Unversiegelter Bereich):
 Grösse: 2 Bewuchs: 2a
 Boden: 1 Umgebung: 3,1
 Abstand Fahrbahn: 3
 Schutzeinrichtung:

letzte Kontrolle:
 Datum: 16.09.96
 User: ΔCaroline von der Recke
 Pflege: Ja Nein

Buttons: Inventur, Pflege, [Grid], [Grid], [Grid], [Grid], Abbrechen, OK

Abbildung 4.14: Maske der Baumstammdatenverwaltung

In der Übersicht werden alle für die Verwaltung der Baumdaten relevanten Informationen verwaltet. Dazu zählen Angaben

- zur Baumart,
- zur Einordnung in den Objektschlüsselkatalog Grünflächen (Folie, Objektart),
- zur Entstehung (Datum, Erfassungsmethode) und letzten Änderung,
- zur Lage und zum Flurstücksbezug,
- zur Baumdimension,
- zum Baumstandort und
- zur letztmaligen Kontrolle (Datum, Bearbeiter, Pfliegenotwendigkeit).

Bei Änderung der Baumlage wird automatisch neu berechnet, in welchem Flurstück sich der Baum befindet.

Unter dem Modul "Inventur" wird eine Übersicht über die Kartierungen, in denen der Baum "Baum_5401" erfaßt wurde (Abbildung 4.15), angezeigt.

Baumstammdaten **Baumart** | Fraxinus excelsior |
Baumnr | BAUM_5401 |

Feldbegang	Datum	Bearbeiter	Alter	Umfang	Höhe
	16.09.1996	ΔCaroline von der Recke	2	83	2

Luftbildauswertung	Datum	Bearbeiter	Artengruppe
	22.04.1996	ΔThomas Beisch	Baum (einzeln)

Buttons: **Stammdaten** **Pflege** [Icons] **Abbrechen** **OK**

Abbildung 4.15: Übersicht über die durchgeführten Kartierungen

Der Baum in diesem Beispiel wurde terrestrisch am 16.9.1996 und per Luftbildauswertung am 22.4.1996 erfaßt. Bei mehrmaligen Erfassungen dient die Übersicht

gleichzeitig der Dokumentation der zeitlichen Entwicklung. Die detaillierten Aufnahmedaten für die terrestrische und für die Luftbildkartierung zeigen die Abbildungen 4.16 und 4.17.

Suche ...

Baumstammdaten

Baumart
 Baumnr

Feldaufnahmedaten

Datum Bearbeiter

Baumdimension

Alter
 Umfang
 Höhe

Baumstandort (unversiegelter Bereich)

Grösse
 Bewuchs
 Beschaffenheit
 Umgebung
 Abstand Fahrbahn

Schutzeinrichtung

Pflege notwendig Ja Nein

Fläche X-Schwerpkt.
 Umfang Y-Schwerpkt.

Abbildung 4.16: Feldaufnahmedaten

Suche ...

Baumstammdaten

Baumart
 Baumnr

Luftbilddauswertung

Datum Bearbeiter

Artengruppe

Umfang
 Fläche
 Volumen
 Mantelfläche
 Wipfelhöhe
 Fushöhe
 Baumhöhe

Baumlage

Fußpunkt	<input type="text" value="3565076,7"/>	<input type="text" value="5713998,2"/>	<input type="text" value="3565080,4"/>	<input type="text" value="5714003,1"/>
Wipfelpunkt	<input type="text" value="3565076,8"/>	<input type="text" value="5713998,2"/>		
Schwerpunkt	<input type="text" value="3565076,8"/>	<input type="text" value="5713998,2"/>		

Polygon

<input type="text" value="3565076,27"/>	<input type="text" value="5714003,10"/>
<input type="text" value="3565077,50"/>	<input type="text" value="5714002,95"/>
<input type="text" value="3565078,34"/>	<input type="text" value="5714002,88"/>
<input type="text" value="3565079,56"/>	<input type="text" value="5714001,92"/>
<input type="text" value="3565080,22"/>	<input type="text" value="5714000,93"/>
<input type="text" value="3565080,39"/>	<input type="text" value="5713999,46"/>
<input type="text" value="3565080,44"/>	<input type="text" value="5713998,61"/>
<input type="text" value="3565080,44"/>	<input type="text" value="5713997,59"/>
<input type="text" value="3565080,24"/>	<input type="text" value="5713996,45"/>
<input type="text" value="3565079,91"/>	<input type="text" value="5713995,73"/>
<input type="text" value="3565079,57"/>	<input type="text" value="5713995,12"/>

Abbildung 4.17: Daten der Luftbilddauswertung

Die Eingabemaske für die Aufnahme der Daten der terrestrischen Kartierung zeigt die schon in der Maske für die Baumstammdaten (Abbildung 4.14 auf Seite 100) aufgeführten Informationen zum Baumstandort und zur Baumdimension. Der Unterschied zu dieser Maske besteht darin, daß in der Baumstammdatenübersicht nur die zuletzt aufgenommen, aktuellen Daten verzeichnet sind. Beim Vergleich der Angaben der terrestrischen und der Luftbild-Kartierung fällt auf, daß für die terrestrische Kartierung keine Lageangaben gemacht sind, wohingegen bei der Luftbilderfassung die Koordinaten des Kronenpolygones, die Lage des Fuß-, des Wipfel- und des Schwerpunktes verzeichnet sind. In diesem Fall erfolgte die Luftbildauswertung am 22.4.1996 und damit etwa 5 Monate vor der terrestrischen Kartierung. Der Baumstandort wurde bei der terrestrischen Kartierung visuell überprüft, so daß keine Neueinmessung notwendig war. Zusätzlich zu den Lageangaben werden Angaben zum Volumen und zur Mantelfläche der Baumkrone gemacht. Für die Berechnung werden entsprechend der im Luftbild angesprochenen Objektklassen die Modelle "Laubbaum / Strauch", "Nadelbaum" und "Hecke" verwendet (Tabelle 3.4 auf Seite 60), sie sind individuell den einzelnen Objektklassen zuzuordnen.

Der Nachweis der Verkehrssicherungspflicht ist für die meisten kommunalen Grünflächenämter der Hauptbeweggrund für die Erstellung eines Baumkatasters.

Baumstammdaten Baumart: Fraxinus excelsior
Baumnr: BAUM_5401

Kontrolle

Datum	User	Maßnahme notwendig
16.09.1996	ΔCaroline von der Recke	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein

Schäden

Datum	Schadbereich	Maßnahme durchgeführt
16.09.1996	Krone	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein

Maßnahmen

Datum	Schadbereich	Massnahme

Buttons: Stammdaten, Inventur, [K], [←], [→], [⏏], Abbrechen, OK

Abbildung 4.18: Kontrollnachweis

Die Abbildung 4.18 zeigt die entsprechende Eingabemaske. Dort werden chronologisch alle Termine aufgeführt, an denen Kontrollen erfolgten, Schäden ermittelt und Maßnahmen durchgeführt wurden. Die Kontrolleingabemaske, die in Abbildung 4.19 dargestellt ist, zeigt für jeden Kontrolltermin alle bisher vollzogenen Maßnahmen sowie die noch nicht beseitigten und bei vorherigen Inventuren festgestellten Schäden.

Baumstammdaten **Baumart** Fraxinus excelsior
 Baumnr BAUM_5401

Kontrolle durch: Designer
Maßnahme notwendig Ja Nein

Bis zur Kontrolle am 18.05.98 festgestellte Schäden und durchgeführte Maßnahmen:

Schäden		
Datum	Schadbereich	Maßnahme durchgeführt
16.09.1996	Krone	<input type="radio"/> Ja <input checked="" type="radio"/> Nein

Maßnahmen		
Datum	Schadbereich	Maßnahme

Abbrechen OK

Abbildung 4.19: Kontrolleingabemaske

Damit wird bei jeder Kontrolle auch die Eingabe und Überprüfung bisheriger Schadensfeststellungen vom Bearbeiter erzwungen.

Die Veranschaulichung des räumlichen Umfeldes eines ausgewählten Baumes kann einerseits im externen Geodatenbankmodul¹², andererseits in einem speziellen, in der Sachdatenbank integrierten, Datenvisualisierer, dem sogenannten Übersichtskartengenerator, erfolgen. Die Abbildung 4.20 zeigt das entwickelte Programmmodul. Neben der reinen Visualisierung können durch Anklicken der Objekte auch die Sachdatensätze ausgewählt und angezeigt werden.

12. In *MapGrafix* durch Kommunikation über *AppleEvents*. Innerhalb der Sachdatenbank durch Nutzung des Zeichenmoduls *4D Draw*.

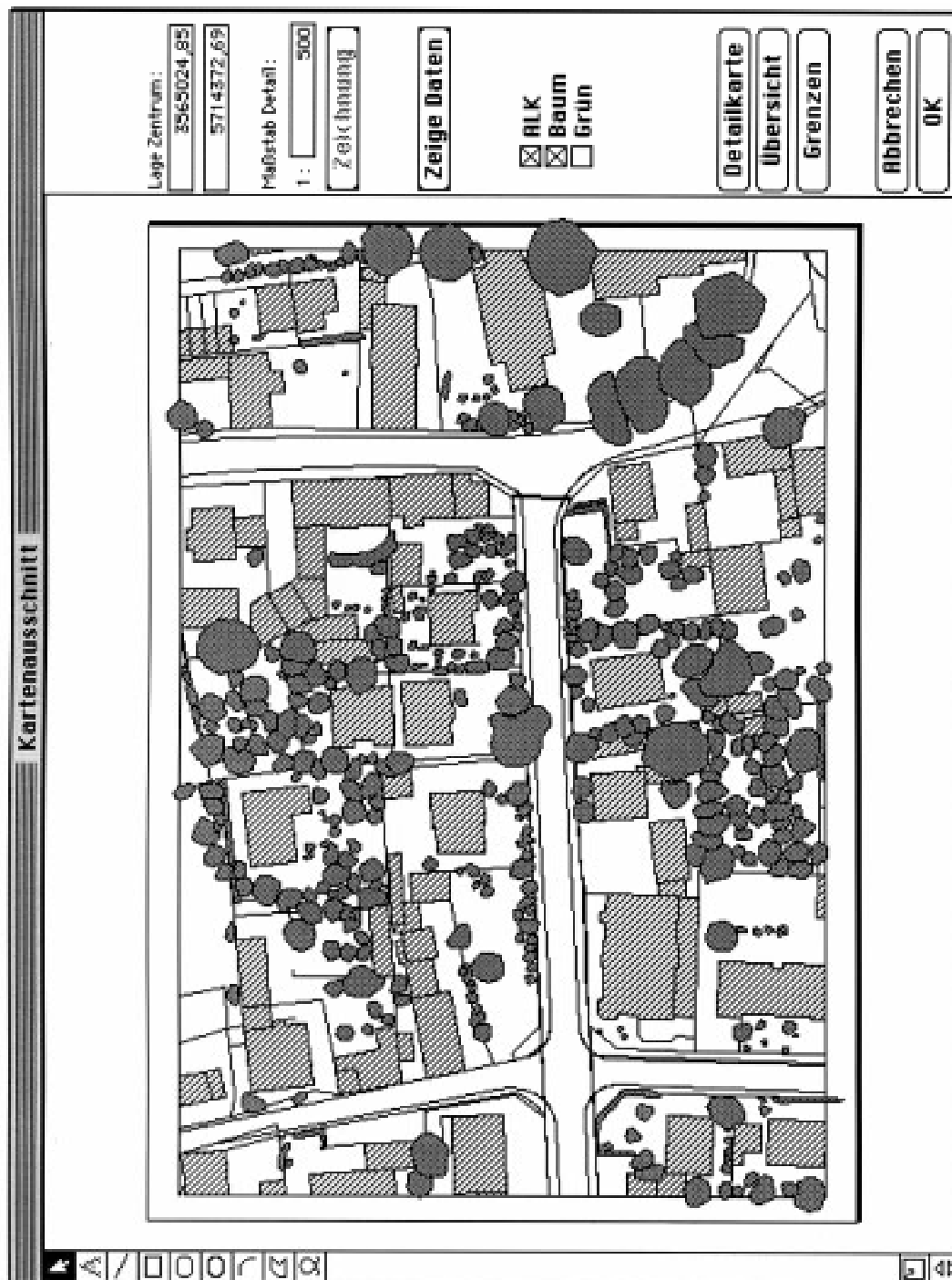


Abbildung 4.20: Programm-Modul zur Visualisierung der Sachdaten in der Sachdatenbank

Die Module "Import" und "Export" beinhalten die Eingabemasken zur Kontrolle des Datenim- und Datenexportes. Neben dem Export als EDBS-Datensatz sind Schnittstellen für *ARC/Info*, *MapGrafix*, *MapInfo* und *MiniCAD* implementiert.

4.2 Inventur- und Kartiermethodik

4.21 Luftbildkartierung

Die Kartierung der Bäume- und Grünflächen durch Luftbildauswertung erfolgte durch Kombination von visueller und automatischer Luftbildauswertung (siehe Abbildung 3.9 auf Seite 56). Beide Verfahren dienen vorbereitend der terrestrischen Kartierung.

4.211 Visuelle Luftbildkartierung

Die visuelle Luftbildauswertung liefert flächendeckend und eigentumsübergreifend Informationen zur Baum- und Grünflächenverteilung. Neben der Kartierung der Baum-

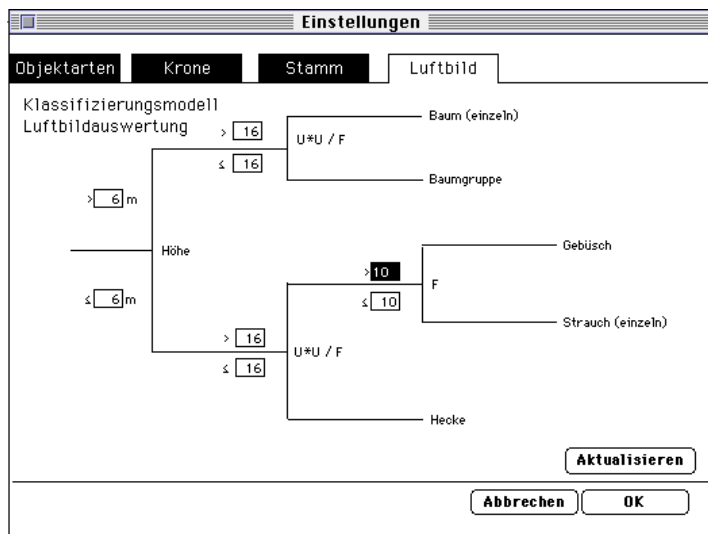


Abbildung 4.21: Klassifizierungsmodell zur Ansprache der Objektklasse

und Strauchlage durch Erfassung des umschließenden Kronenpolygons wurden die Objekthöhen durch Luftbildauswertung der Sommer- und Winteraufnahmen des Jahres 1993 ermittelt. Zur Ansprache der Art bzw. Objektklasse wurde ein dichotomer

Klassifizierungsschlüssel entwickelt. Dieser ermittelt,

wie in Abbildung 4.21 dargestellt, die Objektklasse über die im Luftbild gemessenen Größen Baum- bzw. Strauchhöhe sowie aus der Fläche und dem Quotienten aus quadriertem Umfang und der Fläche.

Die Abbildung 4.22 zeigt das Ergebnis der Luftbildauswertung für das Untersuchungsgebiet.

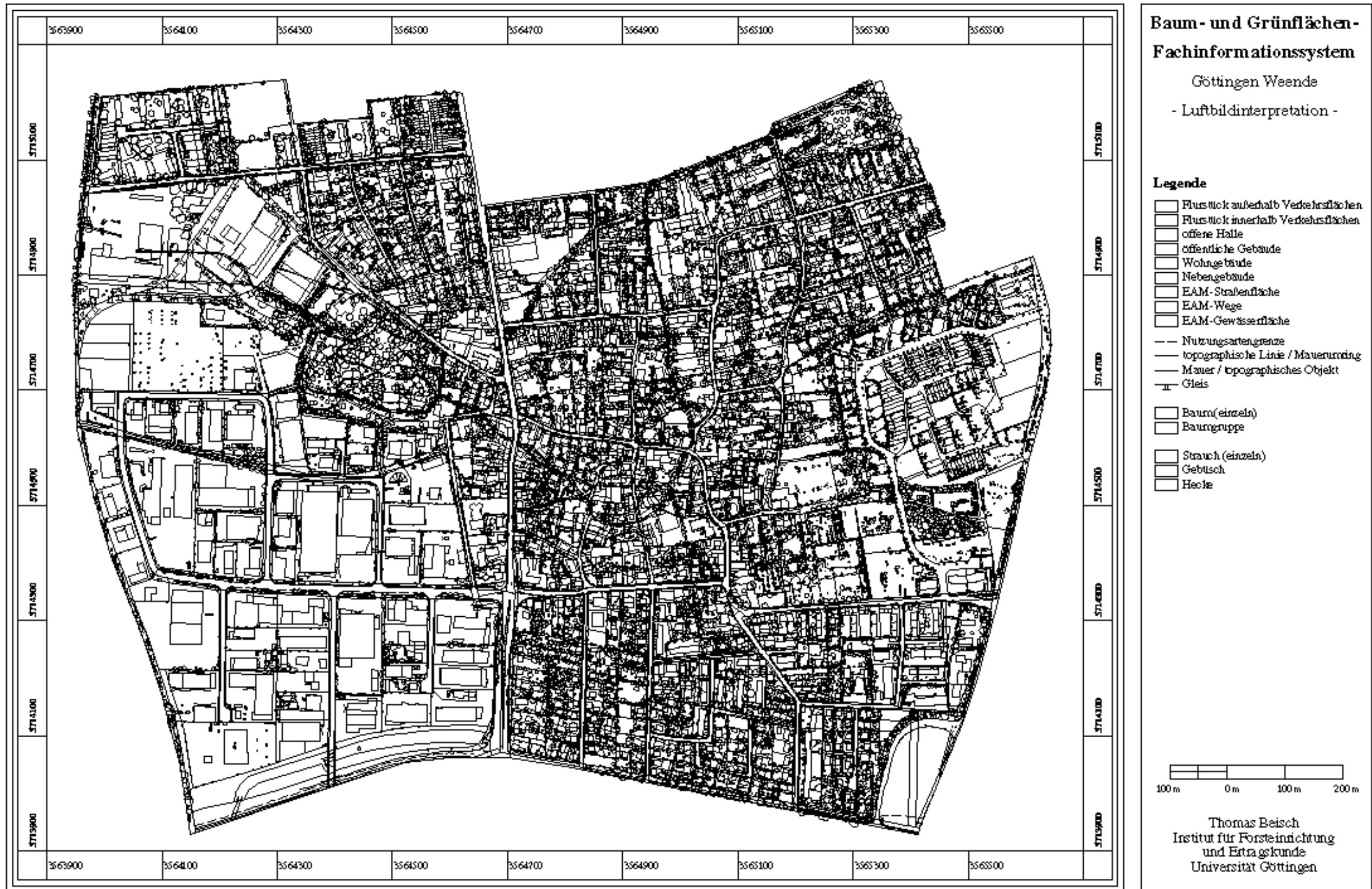


Abbildung 4.22: Ergebnis der visuellen Luftbildauswertung

Im Untersuchungsgebiet wurden insgesamt 21.982 Bäume und Sträucher erfaßt. Durch die Luftbildauswertung wurden 20.990 Individuen kartiert. Die Differenz von 992 Bäumen und Sträuchern ergibt sich durch die im Luftbild nicht erfaßten und während der terrestrischen Kartierung im öffentlich zugänglichen bzw. einsehbaren Bereich zusätzlich kartierten Objekte. Die Tabelle 4.3 zeigt vergleichend die absolute und die relative Häufigkeit aller im Luftbild erfaßten Bäume und Sträucher im Vergleich mit den zusätzlich terrestrisch erfaßten Individuen.

Objektklassen	Luftbilderfassung		terrestrische Erfassung	
	absolut	prozentual	absolut	prozentual
Baum (einzeln)	11.433	54,5%	315	31,8%
Baumgruppe	1.123	5,4%	2	0,2%
Strauch (einzeln)	5.898	28,0%	545	54,8%
Hecke	1.991	9,5%	122	12,3%
Gebüsch	545	2,6%	9	0,9%
Summe	20990		992	

Tabelle 4.3: Absolute und relative Häufigkeiten der im Luftbild und erst bei der terrestrischen Kartierung erfaßten Bäume und Sträucher getrennt nach Objektklassen

Betrachtet man die Häufigkeiten der im Luftbild erkannten bzw. der erst bei der terrestrischen Aufnahme erfaßten Objektklassen, so fällt auf, daß bei der terrestrischen Kartierung zu über 50% einzelne Sträucher und zu etwa 30% einzelne Bäume zusätzlich erfaßt wurden, während bei der Luftbildauswertung die Anteile der Bäume bei 54% und die der Sträucher nur bei 28% lagen. Zusätzlich zur Ansprache der Objektklasse wurde während der terrestrischen Kontrolle die Begrenzungslinie der im Luftbild übersehenen Individuen in den Arbeitskarten vermerkt und anschließend durch Digitalisierung in das Programm *Arboretum urbanum* übernommen.

Die Tabelle 4.4 stellt vergleichend die Häufigkeitsverteilung terrestrisch und photogrammetrisch erfaßter Bäume und Sträucher gegenüber.

Luftbildkartierung	%	n	Flächengröße	n	%	terrestr. Kartierung
	19,6	4050	< 2 m ²	556	56,0	
	23,8	4951	2 bis < 5 m ²	237	23,9	
	17,3	3586	5 bis < 9 m ²	80	8,1	
	12,5	2595	9 bis < 14 m ²	49	4,9	
	8,7	1795	14 bis < 20 m ²	26	2,6	
	7,6	1570	20 bis < 30 m ²	13	1,3	
	5,6	1165	30 bis < 50 m ²	21	2,1	
	3,8	779	50 bis < 100 m ²	10	1,0	
	1,2	255	>100 m ²			

Tabelle 4.4: Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Kronenschirmflächen der photogrammetrisch und zusätzlich terrestrisch erfaßten Bäume und Sträucher

Die Gegenüberstellung zeigt, daß im Luftbild im wesentlichen kleine Objekte übersehen wurden oder nicht sichtbar waren. 56% der zusätzlich terrestrisch kartierten Bäume und Sträucher sind kleiner als 2 m². Weitere 24% sind kleiner als 5 m², so daß insgesamt nur 20% ab einer Flächengröße von über 5 m² im Luftbild übersehen wurden.

4.211.1 Beziehung zwischen Stammumfang und photogrammetrischen Kronengrößen

Der Stammdurchmesser eines Baumes, der in der Forstwirtschaft in 1,3 m über dem Boden gemessen wird, besitzt eine stochastische Beziehung zur Baumhöhe, die in der Waldmeßlehre zur Aufstellung von Bestandeshöhenkurven genutzt wird. In der Waldwachstumskunde wird die Entwicklung des Stammdurchmessers direkt mit der Assimilationsfähigkeit der Baumkrone in Zusammenhang gebracht (u.a. KRAMER, 1988; WENK et al., 1990). Sie wird unter anderem durch die Größe der Baumkrone bestimmt, so daß in Anlehnung an FELDKÖTTER (1994) Angaben zur Baumhöhe und Kronengröße, die durch Luftbildauswertung gewonnen wurden, zur Schätzung des Stammdurchmessers herangezogen werden können.

Bei der Schätzung des Stammdurchmessers bzw. des Stammumfanges, der bei der Stadtbaumkartierung in 1 m über dem Boden gemessen und üblicherweise zur Charak-

terisierung der Stammdimension verwendet wird, müssen zwei verschiedene Zielsetzungen unterschieden werden:

1. Aus den im Luftbild gemessenen Baumdimensionen soll der Umfang des Stammes für jeden einzelnen Baum geschätzt werden.
2. Aus den im Luftbild gemessenen Baumdimensionen soll ebenfalls geschätzt werden, ob der Umfang des Stammes einen bestimmten Grenzumfang überschreitet, so daß der Baum entsprechend der örtlichen Baumschutzsatzung als schützenswert gilt.

Zur Beantwortung dieser beiden Fragestellungen können lineare multiple Regressionsmodelle und lineare Logit-Modelle eingesetzt werden.

Die multiple lineare Regression

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

bestimmt den Zusammenhang zur Zielgröße Y durch lineare Kombination der unabhängigen Variablen X_i . Aus der Stichprobe wird der Zusammenhang zwischen der Zielgröße und den unabhängigen Variablen mit der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt. Diese Methode kann damit zur Schätzung des Stammumfanges (Zielgröße) aus den im Luftbild gemessenen Baumdimensionen (unabhängige Variablen) genutzt werden.

Das lineare Logit-Modell, welches mit der Gleichung

$$\ln \frac{P_1}{P_0} = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon$$

beschrieben wird, beschreibt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer dichotomen abhängigen Zielgröße (Auftreten von P_1 oder P_0) durch lineare Kombination der unabhängigen Variablen X_i (BAHRENBURG, 1992). Die Wahrscheinlichkeit P_1 beschreibt das Auftreten eines Ereignisses, so daß die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von P_0 , dem Alternativereignis, gleich $(1 - P_1)$ ist. P_1 und P_0 können daher Werte im Intervall zwischen 0 und 1 annehmen.

Für die gewünschte Fragestellung - fällt ein Baum unter die Baumschutzsatzung - gibt das lineare Logit-Modell für jeden Baum einen entsprechenden Wahrscheinlichkeitswert an.

Schätzung des Stammumfanges durch multiple lineare Regression

Die im Luftbild gemessenen Größen Baumhöhe (H) und Kronendurchmesser (KD) bilden die Eingangsgrößen für die Schätzung des an 413 Bäumen terrestrisch gemessenen Stammumfanges. Die unabhängigen Hilfsvariablen wurden durch Transformation und Kombination durch eine stufenweise Regression auf ihren Einfluß auf die Zielgröße untersucht.

Zielgröße	R ² (adjusted)	Cp / AIC	F / Signifikanz	“unabhängige“ Variablen
Stamm- umfang	0,626	3,21 / 3009,5	345,2 / ***	KD; Baumform
	0,846	3,00 / 2644,3	1127,1 / ***	H* H; KD * KD

Tabelle 4.5: Übersicht über die Ergebnisse der “besten Modelle“ zur Schätzung des Stammumfanges aus den im Luftbild ermittelten Baumdimensionen (***) = höchst signifikant ($\alpha = 0,001$))

Die Tabelle 4.5 zeigt die “besten Modelle“ als Ergebnis der stufenweise Regression. Die Modelle wurden entsprechend STAHEL (1995) und SAS (1995) hinsichtlich des multiplen Bestimmtheitsmaßes (R^2 adjusted), dem Signifikanzniveau für das gesamte Modell (F / Signifikanz), dem Cp-Wert von MALLOW und dem AIC-Wert von AKAIKE geprüft. Die Modelle weisen einen höchst signifikanten Zusammenhang für das gesamte Modell, wie auch für die einzelnen “unabhängigen Variablen“ auf. Die Berücksichtigung weiterer “unabhängiger Variablen“ führte zu keiner deutlichen Verbesserung des Zusammenhanges zur Zielgröße.

In der Tabelle 4.5 sind zwei verschiedene Gruppen von Modellen zur Schätzung des Stammumfanges aufgeführt. Das erste Modell schätzt den Stammumfang durch die sehr leicht im Luftbild zu erhebenden Größen Kronendurchmesser (KD) und Baumform. Mit dem Merkmal Baumform wurden schlanke und gedrungene Baumformen unterschieden (Abbildung 4.23). Fichten und Pyramidenpappeln besitzen zum Beispiel eine schlanke Baumform, während alte Eichen oder Baumhasel eine

gedrungene Baumform aufweisen.

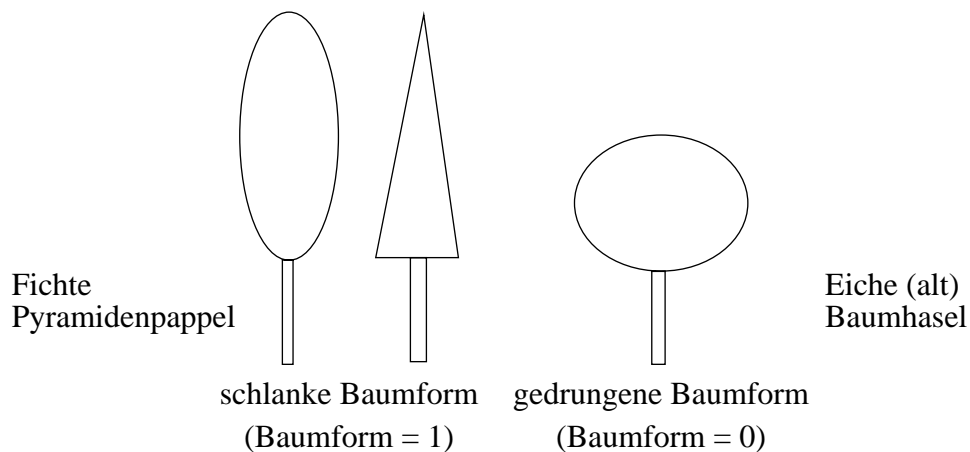


Abbildung 4.23: Baumformen

Zusammen mit dem Kronendurchmesser sind diese beiden Merkmale mit einfachen Luftbildvermessungsverfahren kostengünstig und schnell zu erheben. Berücksichtigt man neben dem Kronendurchmesser auch die im Luftbild gemessene Baumhöhe so verbessert sich der Zusammenhang zur Zielgröße.

Die beiden Modellgleichungen zur Schätzung des Stammumfanges lauten:

$$\text{Stammumfang [cm]} = -21,49 + 17,78 * \text{KD [m]} + 39,86 * \text{Baumform [0;1]}$$

$$\text{Stammumfang [cm]} = 33,66 + 0,20 * \text{H [m]} * \text{H [m]} + 0,59 * \text{KD [m]} * \text{KD [m]}$$

Die beiden Modelle beschreiben einen biologisch sinnvollen Zusammenhang zwischen den im Luftbild gemessenen Baumdimensionen und dem Stammumfang. Beim Modell "KD; Baumform" erhöht sich der Stammumfang mit dem Kronendurchmesser. Bei gleichem Kronendurchmesser weisen schlanke Baumformen einen größeren Stammumfang als gedrungene Baumformen auf. Im Modell "H*H; KD*KD" steigt der Stammumfang mit der Zunahme der Höhe und des Kronendurchmessers.

Die Abbildung 4.24 zeigt für das Untersuchungsgebiet die Verteilung der Bäume gegliedert nach Stammumfangklassen.

Die Tabelle 4.6 zeigt die Häufigkeitsverteilung der anhand der im Luftbild gemessenen Größen Baumhöhe und Kronendurchmesser geschätzten Stammumfänge.

Stammumfangklassen	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit	10%	20%	30%	40%	50%		
40 - < 60 cm	5.574	48,9%							
60 - < 80 cm	3.099	27,2%							
80 - < 100 cm	1.177	10,3%							
100 - < 120 cm	590	5,2%							
120 - < 140 cm	353	3,1%							
140 - < 160 cm	210	1,8%							
160 - < 180 cm	135	1,2%							
180 - < 200 cm	81	0,7%							
200 - < 220 cm	60	0,5%							
220 - < 240 cm	29	0,2%							
240 - < 260 cm	22	0,2%							
260 - < 280 cm	23	0,2%							
280 - < 300 cm	10	0,1%							
≥ 300 cm	42	0,4%							

Tabelle 4.6: Absolute und relative Häufigkeit der geschätzten Stammumfänge in 1m Höhe

Im Untersuchungsgebiet überwiegen Bäume geringer Dimension. Insgesamt besitzen etwa 3/4 aller Bäume einen geschätzten Stammumfang von unter 80 cm. 1/4 oder absolut gesehen 2.732 Bäume überschreiten den Stammumfang von 80 cm.

Schätzung der Schutzwürdigkeit nach Baumschutzsatzung durch lineare Logit Modelle
 Entsprechend dem Vorgehen bei der Schätzung des Stammumfanges durch multiple lineare Regression wurden für die Schätzung der Schutzwürdigkeit im Sinne der Baumschutzsatzung zwei verschiedene Modellgruppen unterschieden.

Zielgröße	R ² (U)	χ ²	Signifikanz	“unabhängige“ Variablen
Schutzwürdigkeit	0,642	364,73	***	KD; KD*KD; Baumform
	0,694	394,59	***	H; KD

Tabelle 4.7: Übersicht über die Ergebnisse der “besten Modelle“ zur Schätzung der Schutzwürdigkeit aus den im Luftbild ermittelten Baumdimensionen (***) = höchst signifikant (α = 0,001))

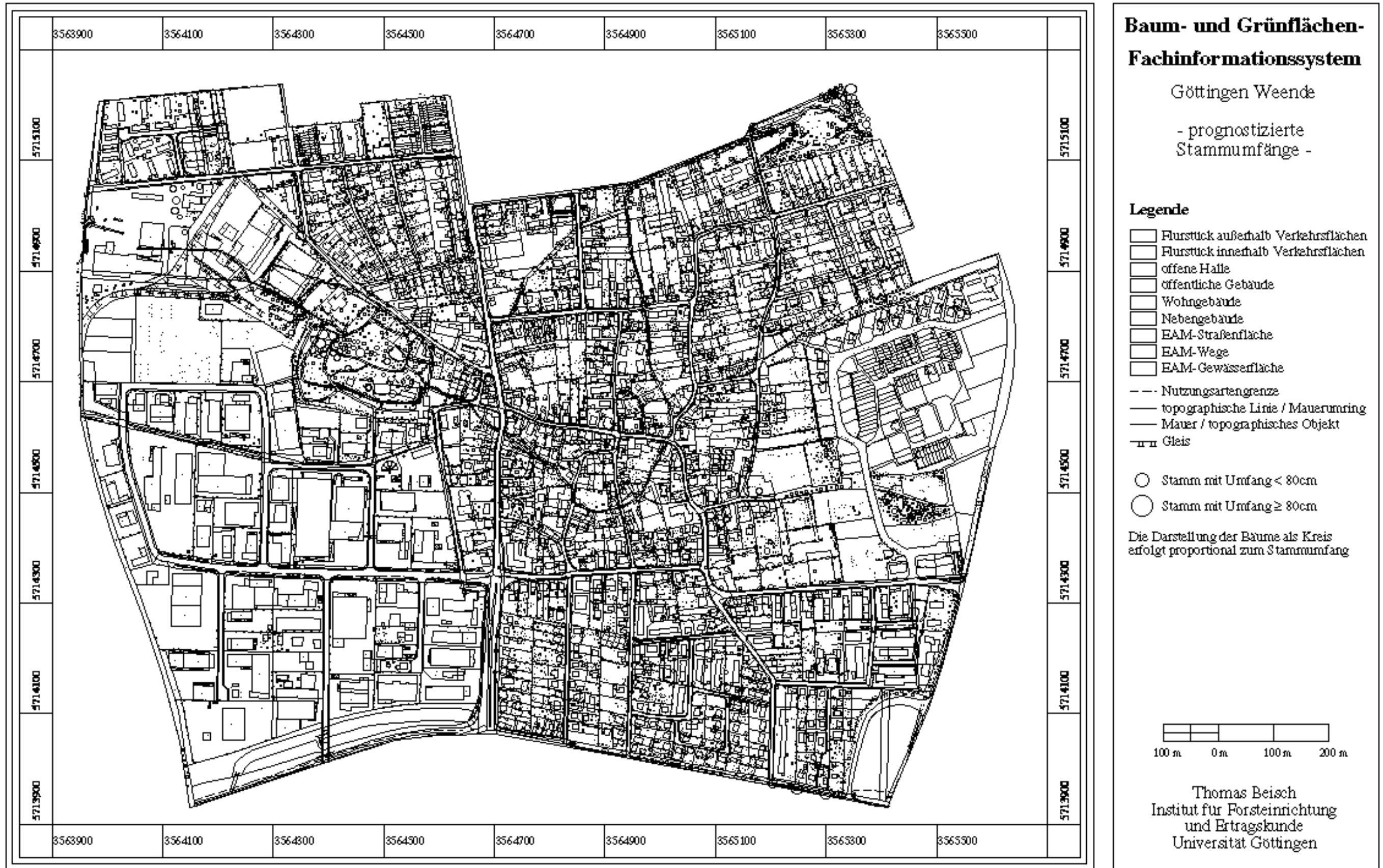


Abbildung 4.24: Karte der Stammumfangklassen für das Untersuchungsgebiet

In Göttingen fallen Bäume ab einem Stammumfang von größer 80 cm unter die Baumschutzsatzung.

In Anlehnung an BAHRENBURG et al. (1992) wurden beide Modelle mit dem χ^2 -Test, sowie die einzelnen Regressionskoeffizienten mit dem χ^2 -Test nach Wald (SAS; 1995) auf ihre Güte hin überprüft. Der mit den Modellen hergestellte Zusammenhang ist höchst signifikant.

Die beiden Schätzgleichungen lauten:

$$P(\text{Baum ist schutzwürdig}) = \frac{1}{(1 + e^{11,39 - (2,47KD) + (0,086KD^2) - (2,09\text{Baumform})})}$$

$$P(\text{Baum ist schutzwürdig}) = \frac{1}{(1 + e^{10,08 - (0,43H) - (0,89KD)})}$$

Das erste Modell schätzt die Schutzwürdigkeit durch einfach im Luftbild zu erhebende Größen - Kronendurchmesser und Baumform. Die Baumform wird entsprechend Abbildung 4.23 auf Seite 113 angesprochen. Die Schutzwürdigkeit steigt für jede der beiden möglichen Baumformengruppen mit dem Kronendurchmesser an.

Beim zweiten Modell steigt die Wahrscheinlichkeit für die Schutzwürdigkeit mit steigender Baumhöhe und steigendem Kronendurchmesser an. Beide Modelle zeigen damit einen biologisch erklärbaren Verlauf.

Betrachtet man die beiden Effekte Kronendurchmesser und Baumhöhe isoliert hinsichtlich ihres Einflusses auf die Schutzwürdigkeit eines Baumes, so ergeben sich folgende Funktionsverläufe (Abbildung 4.25).

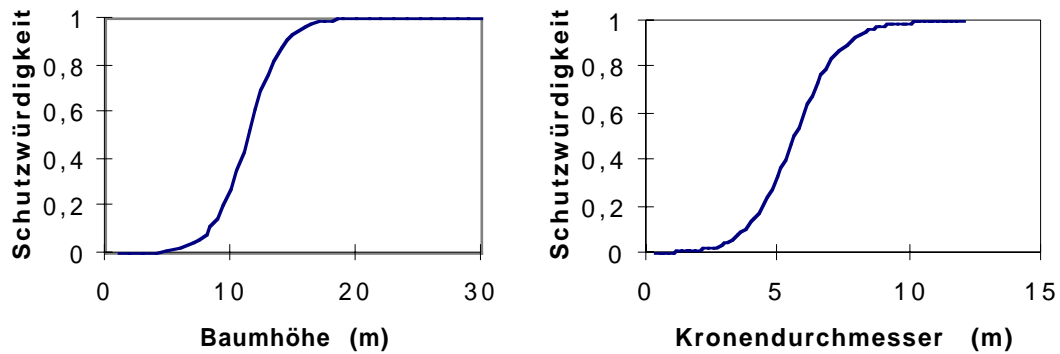


Abbildung 4.25: Zusammenhang zwischen der Schutzwürdigkeit und den im Luftbild erhobenen Größen Baumhöhe und Kronendurchmesser

Die Übergangszone, die keine eindeutige Zuordnung zu den Kartegorien schützenswert bzw. nicht schützenswert ermöglicht, erstreckt sich bei isolierter Betrachtung für die Baumhöhe innerhalb des Bereiches von 7,5 m bis 15 m. Oberhalb dieses Bereichs gelten alle Bäume als schützenswert, unterhalb als nicht schutzwürdig. Für das Merkmal Kronendurchmesser erstreckt sich dieser Bereich von 3 m bis 8 m.

Die Abbildung 4.26 zeigt die Häufigkeitsverteilung der schützenswerten Bäume für das Untersuchungsgebiet.

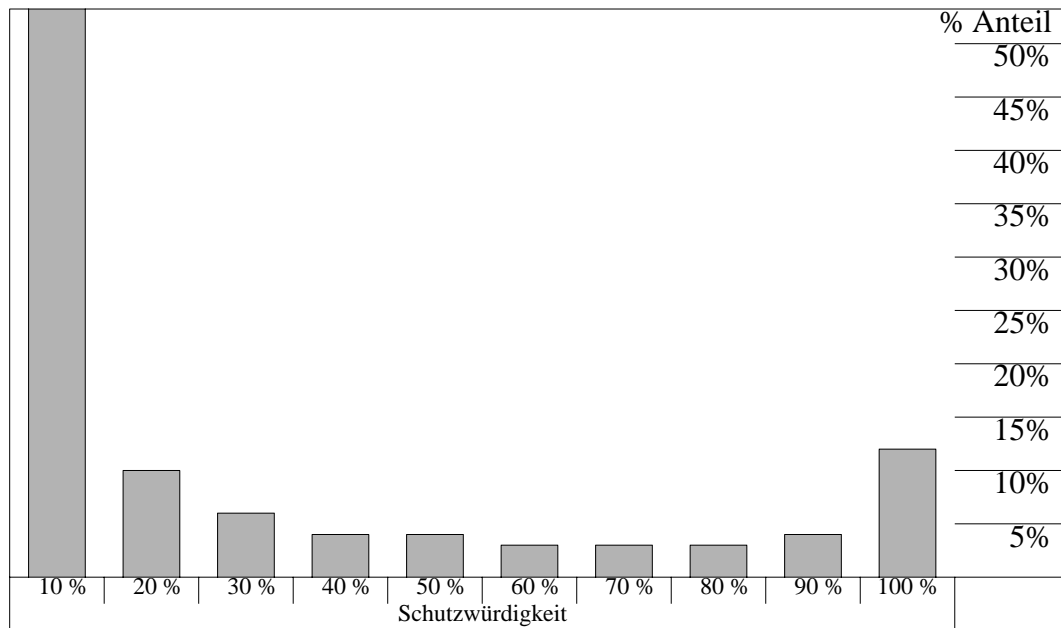


Abbildung 4.26: Häufigkeitsverteilung der schützenswerten Bäume für das Modell “Schutzwürdigkeit = f(H; KD)“

Auf der Abzisse des Diagrammes ist die prozentuale Schutzwürdigkeit aufgetragen.

Eine prozentuale Schutzwürdigkeit von 10% bedeutet, daß statistisch nur 10 von 100 Bäumen dieser Gruppe einen Stammumfang von über 80 cm besitzen. Auf der Ordinate ist aufgetragen, wieviele Bäume des Untersuchungsgebietes auf Grund der Luftbildauswertung in die verschiedenen Schutzwürdigkeitsklassen fallen. Sollen bei einer terrestrischen Kontrolle alle Bäume überprüft werden, deren erwartete Schutzwürdigkeit 50 von 100 überschreitet, so sind im Untergebiet 2.716 Bäume zu vermessen.

4.212 Automatische Luftbildkartierung

In diesem Teil der Untersuchung soll geprüft werden, inwieweit durch Verfahren der automatischen Bildklassifizierung die Grünflächenstruktur erfaßt werden kann (siehe Abbildung 3.9 auf Seite 56). Da mit der ALK bereits für verschiedene Nutzungen, z.B. für Gebäude und Strassen, detaillierte Information vorliegen, sollen mit der automatisierten Klassifizierung die Nutzungen der "unversiegelten" Geländeausschnitte konkretisiert werden.

Anhand von drei Ausschnitten (Thiehaus, Klosterpark und Färberstraße) sollen die Klassen (a) Flächen mit niederer Vegetation (Rasenflächen, Nutzgärten), (b) Flächen mit Vegetation mittlerer Höhe (Gebüsch, Sträucher und Hecken) und (c) baumbestandene Vegetationsflächen unterschieden werden.

Zur Klassifizierung wurde der *Maximum-Likelihood*-Algorithmus und der *ECHO*-Klassifizierer in vier verschiedenen Kanalkombinationen eingesetzt. Die Güte der Klassifizierung wurde anhand der Klassenzuordnungs-, der Produzenten- und der Nutzer-Genauigkeit sowie dem Kappa-Wert quantifiziert.

Die Tabelle 4.8 zeigt die Klassenzuordnungsgenauigkeit für die eingesetzten Kanal-kombinationen und Klassifizierungsalgorithmen. Als Schwellenwert für die Zuordnung (*threshold*) wurde für alle Klassen eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$ festgelegt.

Gebiet		G;R;IR	G;R;IR; (IR-R)	G;R;IR; OH	G;R;IR; (IR-R); OH
<i>Thiehaus</i>	ML-Klassifikation	65,9%	66,0%	74,9%	75,0%
	<i>ECHO</i> Klassifikation	67,8%	67,0%	73,5%	74,2%
<i>Färberstraße</i>	ML-Klassifikation	71,3%	71,2%	76,2%	76,9%
	<i>ECHO</i> Klassifikation	70,8%	70,9%	74,7%	75,7%
<i>Klosterpark / Lutteranger</i>	ML-Klassifikation	61,7%	55,9%	78,7%	78,7%
	<i>ECHO</i> Klassifikation	66,3%	58,9%	76,3%	77,3%

Tabelle 4.8: Klassenzuordnungsgenauigkeit (G: Grün-Kanal; R: Rot-Kanal; IR: Infrarot-Kanal; (IR-R): Differenzkanal Infrarot minus Rot; OH: Objekthöhenkanal)

Der *Maximum-Likelihood*-Algorithmus und der *ECHO*-Klassifizierer zeigen in den drei untersuchten Ausschnitten eine vergleichbare Klassenzuordnungsgenauigkeit. Die Hinzunahme des Objekthöhenkanals (OH) führt im Vergleich zu den Kanal-kombination (G;R;IR) und (G;R;IR;IR-R) zu einer deutlichen Steigerung der Klassen-zuordnungsgenauigkeit. Wird neben den Kanälen (G;R;IR;OH) zusätzlich noch der Verhältniskanal (IR-R) zur Klassifizierung herangezogen, so verbessert sich die Klassenzugehörigkeit nur geringfügig.

Für den Kappa-Wert können gleichgerichtete Veränderungen hinsichtlich der Kanal-kombinationen, wie bei der Klassenzuordnungsgenauigkeit festgestellt werden (Tabelle 4.9).

		G;R;IR	G;R;IR; (IR-R)	G;R;IR; OH	G;R;IR; (IR-R); OH
<i>Thiehaus</i>	ML-Klassifikation	58,1%	58,3%	69,2%	69,3%
	<i>ECHO</i> Klassifikation	60,5%	59,5%	67,6%	68,4%
<i>Färberstraße</i>	ML-Klassifikation	65,8%	65,7%	72,2%	73,0%
	<i>ECHO</i> Klassifikation	65,4%	65,5%	70,6%	71,7%
<i>Klosterpark / Lutteranger</i>	ML-Klassifikation	54,6%	48,6%	74,9%	75,1%
	<i>ECHO</i> Klassifikation	60,1%	52,2%	72,2%	73,5%

Tabelle 4.9: Kappa-Wert (G: Grün-Kanal; R: Rot-Kanal; IR: Infrarot-Kanal; (IR-R): Differenzkanal Infrarot minus Rot; OH: Objekthöhenkanal)

Die Veränderung der Klassifizierungsgenauigkeit wirkt sich auf die einzelnen Klassen unterschiedlich aus. Wird zur Einschätzung der Veränderung die Produzentengenauigkeit herangezogen (Tabelle 4.10), so kann eine deutliche Verbesserung der Klassifizierung für die Baum- und die Strauchvegetation durch zusätzliche Berücksichtigung des Objekthöhenkanals beobachtet werden. Für die Klassen Rasenvegetation und Gartenland-Vegetation kann keine gerichtete Veränderungstendenz festgestellt werden.

			G;R;IR	G;R;IR; (IR-R)	G;R;IR; OH	G;R;IR; (IR-R); OH
Baum- Vegetation	ML-Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	49,0%	49,0%	66,7%	66,8%
		<i>Färberstraße</i>	50,8%	50,2%	86,1%	86,5%
		<i>Klosterpark</i>	51,1%	50,4%	72,0%	73,8%
	<i>ECHO</i> Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	49,9%	45,6%	63,6%	65,0%
		<i>Färberstraße</i>	40,8%	38,5%	83,1%	85,7%
		<i>Klosterpark</i>	57,9%	58,7%	67,5%	72,6%
Strauch- Vegetation	ML-Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	75,6%	75,7%	90,7%	90,3%
		<i>Färberstraße</i>	38,0%	37,7%	73,2%	73,6%
		<i>Klosterpark</i>	49,2%	50,3%	77,3%	78,0%
	<i>ECHO</i> Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	83,8%	83,5%	91,0%	90,8%
		<i>Färberstraße</i>	43,1%	46,0%	72,5%	72,3%
		<i>Klosterpark</i>	56,3%	56,2%	72,9%	73,8%
Rasen- Vegetation	ML-Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	78,9%	78,7%	81,5%	82,3%
		<i>Färberstraße</i>	76,4%	78,2%	71,3%	72,2%
		<i>Klosterpark</i>	79,6%	79,5%	83,5%	83,1%
	<i>ECHO</i> Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	78,7%	73,8%	77,8%	81,4%
		<i>Färberstraße</i>	74,1%	75,7%	68,4%	71,7%
		<i>Klosterpark</i>	79,5%	80,2%	83,0%	82,7%
Gartenland- Vegetation	ML-Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	84,2%	83,7%	86,3%	86,4%
		<i>Färberstraße</i>	71,6%	71,9%	75,6%	79,9%
		<i>Klosterpark</i>	85,4%	86,4%	75,9%	75,9%
	<i>ECHO</i> Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	85,3%	83,6%	85,4%	83,1%
		<i>Färberstraße</i>	69,4%	71,4%	74,1%	78,4%
		<i>Klosterpark</i>	87,9%	88,9%	73,4%	72,9%

Tabelle 4.10: Produzenten-Genauigkeit (G: Grün-Kanal; R: Rot-Kanal; IR: Infrarot-Kanal; (IR-R): Differenzkanal Infrarot minus Rot; OH: Objekthöhenkanal)

Der *ECHO*-Klassifizierer liefert bei Nutzung des Objekthöhenkanals tendenziell leicht schlechtere Ergebnisse als der *Maximum-Likelihood*-Algorithmus.

In der Tabelle 4.11 ist die Nutzergenauigkeit der Klassifizierung aufgeführt. Sie gibt Auskunft darüber, wieviel Prozent der in einer bestimmten Klasse zugeordneten Bildelemente korrekt zugeordnet sind. Für den Nutzer ist diese Angabe besonders bedeutend, da sie die Verlässlichkeit der Klassifizierung beschreibt.

Ebenso wie bei der Produzenten-Genauigkeit kann auch hier durch Hinzunahme des Objekthöhenkanals zu den drei bzw. vier Spektralkanälen für alle Klassen eine Verbesserung der Nutzer-Genauigkeit festgestellt werden.

			G;R;IR	G;R;IR; (IR-R)	G;R;IR; OH	G;R;IR; (IR-R); OH
Baum- Vegetation	ML-Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	65,2%	65,2%	95,6%	95,5%
		<i>Färberstraße</i>	65,8%	64,6%	95,1%	94,9%
		<i>Klosterpark</i>	47,7%	47,7%	100,0%	100,0%
	ECHO Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	71,9%	69,7%	98,0%	97,8%
		<i>Färberstraße</i>	65,1%	64,1%	95,6%	96,0%
		<i>Klosterpark</i>	56,2%	56,8%	100,0%	100,0%
Strauch- Vegetation	ML-Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	70,1%	70,2%	80,6%	80,4%
		<i>Färberstraße</i>	38,8%	38,2%	92,6%	92,2%
		<i>Klosterpark</i>	69,1%	68,5%	92,5%	91,6%
	ECHO Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	74,7%	72,7%	81,3%	81,7%
		<i>Färberstraße</i>	41,9%	39,9%	91,2%	90,7%
		<i>Klosterpark</i>	73,7%	74,1%	92,1%	92,1%
Rasen- Vegetation	ML-Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	65,4%	65,4%	77,4%	77,3%
		<i>Färberstraße</i>	74,0%	73,6%	89,9%	89,9%
		<i>Klosterpark</i>	72,5%	71,9%	94,4%	94,3%
	ECHO Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	81,0%	79,2%	85,1%	84,7%
		<i>Färberstraße</i>	78,9%	81,0%	90,0%	92,4%
		<i>Klosterpark</i>	83,7%	83,3%	95,1%	94,9%
Gartenland- Vegetation	ML-Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	95,9%	95,0%	99,6%	99,6%
		<i>Färberstraße</i>	97,0%	98,3%	99,7%	99,1%
		<i>Klosterpark</i>	86,7%	86,9%	99,3%	98,7%
	ECHO Klassifikation	<i>Thiehaus</i>	96,0%	95,1%	99,6%	99,8%
		<i>Färberstraße</i>	98,6%	99,0%	100,0%	99,7%
		<i>Klosterpark</i>	89,7%	89,8%	99,3%	98,6%

Tabelle 4.11: Nutzer-Genauigkeit (G: Grün-Kanal; R: Rot-Kanal; IR: Infrarot-Kanal; (IR-R): Differenzkanal Infrarot minus Rot; OH: Objekthöhenkanal)

Im Gegensatz zur Produzenten-Genauigkeit kann mit dem *ECHO*-Klassifizierer bei der Nutzer-Genauigkeit eine größere Verlässlichkeit als durch Anwendung des *Maximum*-

Likelihood-Algorithmus erreicht werden.

Für die einzelnen Testflächen wurde zusätzlich untersucht, ob zwischen den eingesetzten Klassifizierungsverfahren signifikante Unterschiede hinsichtlich der mittleren Produzentengenauigkeit zu beobachten waren. Mit dem paarweisen Mittelwertsvergleich konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

4.22 Terrestrische Ergänzungsinventur

Die terrestrische Kartierung ist ein unverzichtbarer Bestandteil für die Erstellung eines Baum- und Grünflächenfachinformationssystems. Sie dient der Überprüfung der Richtigkeit und der Vollständigkeit der im Luftbild erfaßten Bäume und Grünflächen. Sie liefert über die Ergebnisse der Luftbildauswertung hinaus noch eine Vielzahl der für den Schutz und die Pflege notwendigen Informationen.

Das in dieser Untersuchung angewandte luftbildgestützte Kartierverfahren wurde im Rahmen der Diplomarbeit von VON DER RECKE (1997) hinsichtlich seiner Eignung für die Unterstützung der terrestrischen Inventur überprüft.

VON DER RECKE (1997) beurteilte das Kartierverfahren folgendermaßen:

- Die durch die Luftbildauswertung mit den Kronenpolygonen ergänzten automatisierten Liegenschaftskarten (ALK) ermöglichen eine sehr gute Orientierung im Gelände.
- Die Angaben der ALK (Grenzen der Flurstücke, Lage von Gebäuden etc.) in den Aufnahmekarten ermöglichen die Ergänzung fehlender Bäume und Sträucher durch einfache Vermessungsverfahren.
- Für das Untersuchungsgebiet hat sich zur Überprüfung und Ergänzung der photogrammetrischen Kartierung ein Kartenmaßstab von 1:500 als besonders günstig herausgestellt. Ausschließlich in den Neubaugebieten mußte durch den überwiegenden Anteil kleinflächiger Grünobjekte auf einen Kartenmaßstab von 1:250 ausgewichen werden.
- Die automatische Erstellung von Aufnahmeformularen mit Übersichten in Tabellenform und als Karte durch das Programm *Arboretum urbanum* erleichtert

die Kartierung im Gelände deutlich.

- Für Erst- und Folgeinventuren sollen ebenso wie für die Kontrollgänge im Sinne der Verkehrssicherungspflicht verschiedene Aufnahmeformulare eingesetzt werden.

Detaillierte Bewertungen zu den im Sinne der Verkehrssicherungspflicht zu erhebenden Merkmalen finden sich bei VON DER RECKE (1997).

4.3 Anwendungs- und Analysebeispiele

In diesem Kapitel sollen verschiedene Anwendungs- und Analysebeispiele vorgestellt werden. Die Darstellung einer Zeitreihe (retrospektivische Auswertung), die Berechnung der Grünanteile für die einzelnen Nutzungs- und Baustrukturtypen und die Bestimmung der lokalen und regionalen Grünversorgung sollen das Potential der Luftbildauswertung und der Analyse von Geo-Daten exemplarisch aufzeigen.

4.31 Retrospektivische Auswertung

Die Auswertung alter Luftbilder ermöglicht eine retrospektivische Betrachtung der Zustandsveränderung. Für einen Ausschnitt des Untersuchungsgebietes - den Bereich *Thiehaus* - wurden Luftbilder der Jahrgänge 1957, 1971, 1983 und 1993 mit dem analytischen Stereoplotter KERN DSR 11-18 visuell kartiert. Entsprechend dem Aufnahmeverfahren für das gesamte Untersuchungsgebiet wurden Kronenpolygone und Baumhöhen gemessen sowie Vegetationsformen angesprochen.

Die Abbildungen 4.27 und 4.28 zeigen die Ergebnisse der visuellen Interpretation für die verschiedenen Aufnahmejahrgänge.

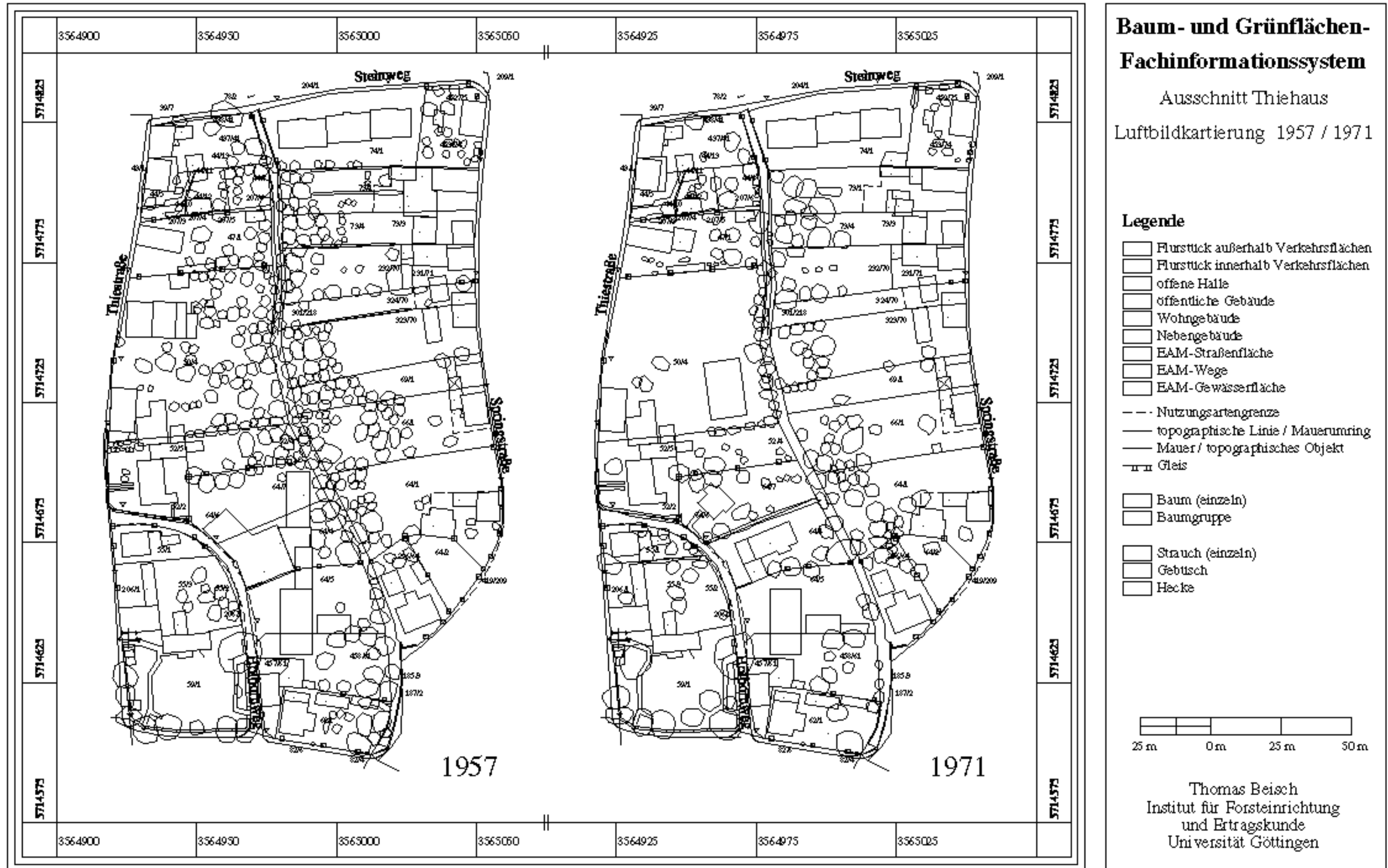


Abbildung 4.27: Ergebnis der Kartierung der Aufnahmejahrgänge 1957 und 1971

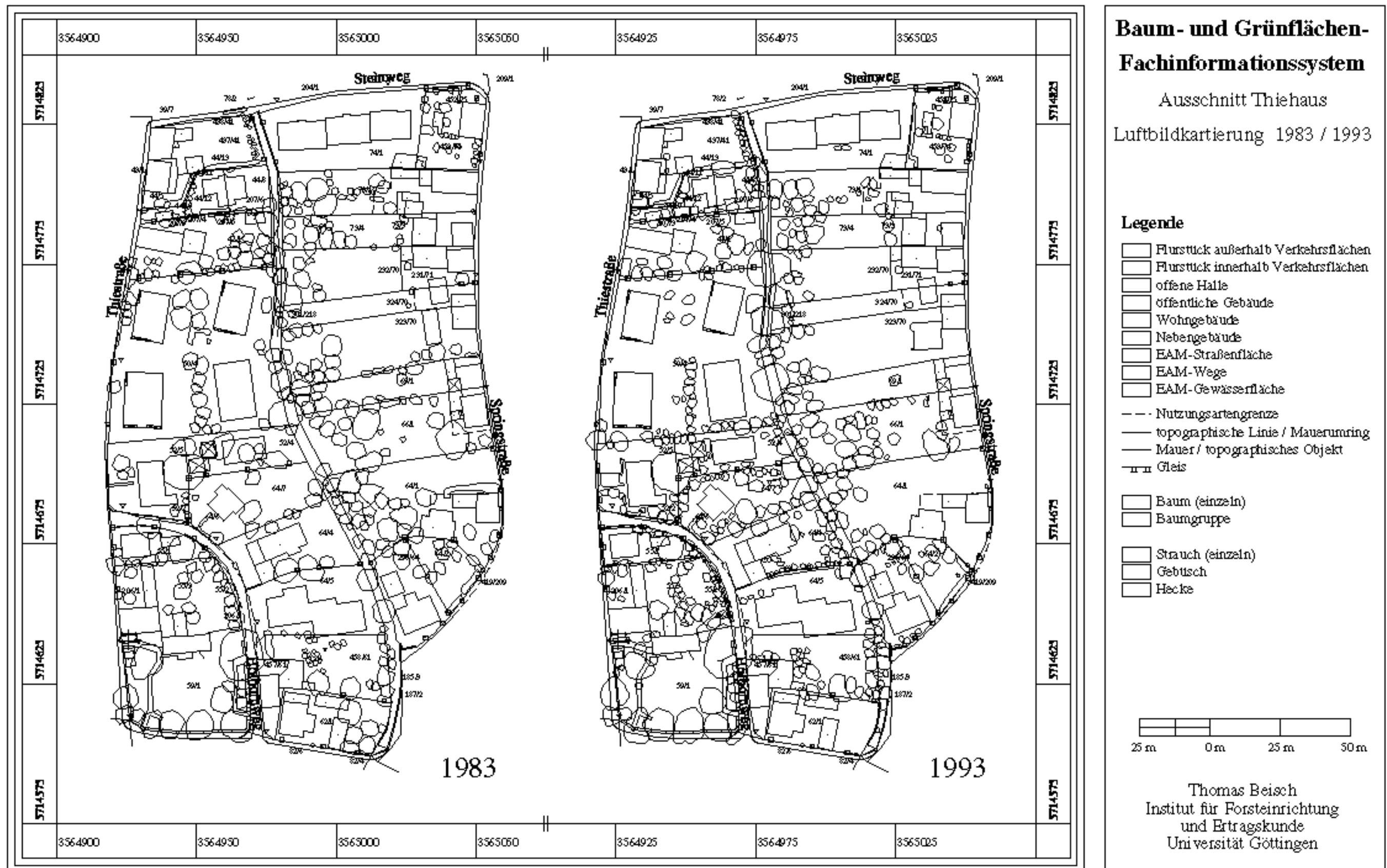


Abbildung 4.28: Ergebnis der Kartierung der Aufnahmejahrgänge 1983 und 1993

Der Vergleich der Aufnahmen von 1957 und 1971 zeigt, daß die Anzahl der Bäume und Sträucher ebenso wie die überschirmte Fläche abnimmt. Dieser visuelle Eindruck wird durch die Berechnungen hinsichtlich Überschirmungsfläche, Kronenvolumen und Kronenmantelfläche bestätigt (siehe Tabelle 4.12). Hinsichtlich der Überschirmungsfläche und des Kronenvolumens kann eine Abnahme von 25% beobachtet werden. Die Kronenmantelfläche verringerte sich in diesem Zeitraum sogar um ein Drittel, so daß die Reduktion des Grünanteils im wesentlichen durch den Verlust von Objekten mit großem Mantelflächen / Volumen-Verhältnis verursacht wird. Dieser Zusammenhang findet sich in der nach Objektklassen differenzierten Berechnung der Kenngrößen in der Tabelle 4.13 auf Seite 130. Hier zeigt sich, daß die Veränderung durch eine überproportionale Abnahme der Sträucher und Gebüsch im Vergleich zu den Bäumen verursacht wird.

Merkmal	1957	1971	1983	1993
Anzahl Individuen	397	242	401	524
Überschirmungsfläche	6553,29 m ²	4747,38 m ²	6845,28 m ²	6629,57 m ²
Überschirmungsprozent	22,71%	16,46%	23,73%	22,98%
Anteil Bäume	62,3%	71,4%	55,9%	88,5%
Anteil Sträucher	37,7%	28,6%	44,1%	11,5%
Kronenvolumen	13992,27 m ³	10806,03 m ³	18340,45 m ³	30638,13 m ³
Anteil Bäume	61,7%	69,4%	56,8%	89,1%
Anteil Sträucher	38,3%	30,6%	43,2%	10,9%
Kronenmantelfläche	17710,63 m ²	11790,17 m ²	16755,15 m ²	30082,07 m ²
Anteil Bäume	50,9%	59,5%	48,2%	72,5%
Anteil Sträucher	49,1%	40,5%	51,8%	27,5%

Tabelle 4.12: Statistische Angaben zur Luftbildkartierung im Ausschnitt *Thiehaus* für die Jahrgänge 1957 bis 1993

Die Zunahme der Kronenschirm-, der Kronenmantelfläche und des Kronenvolumens setzt sich für die Objektklasse "Bäume" bis zum Aufnahmejahrgang 1983 fort. So verändert sich zum Beispiel die mittlere Schirmfläche je Baum von 20,7 m² im Jahr 1957, über 28,3 m² im Jahr 1971 auf 36,8 m² im Jahr 1983. Zwischen den Aufnahmen 1983 und 1993 verringert sich die mittlere Schirmfläche der Bäume auf 15,1 m², während die Gesamtüberschirmung durch Bäume seit 1971 kontinuierlich ansteigt. Die Ursache ist das Einwachsen der 1983 noch als Strauch angesprochenen Individuen in die Objektklasse "Bäume".

Objektklasse	Merkmal		1957	1971	1983	1993
Baum (einzeln)	Anzahl		197	118	104	389
Baumgruppen	Höhe	Mittelwert	7,57 m	8,22 m	8,76 m	9,77 m
		Streuung	1,60 m	1,84 m	3,08 m	3,35 m
	Schirm- fläche	Gesamt	4085,72 m ²	3387,66 m ²	3828,46 m ²	5873,50 m ²
		Mittelwert	20,74 m ²	28,28 m ²	36,81 m ²	15,10 m ²
		Streuung	17,53 m ²	22,31 m ²	32,73 m ²	23,57 m ²
	Kronen- volumen	Gesamt	8643,33 m ³	7494,34 m ³	10412,13 m ³	27287,65 m ³
		Mittelwert	43,87 m ³	63,51 m ³	100,12 m ³	70,15 m ³
		Streuung	54,20 m ³	79,79 m ³	152,80 m ³	215,65 m ³
	Kronen- mantel- fläche	Gesamt	9011,37 m ²	7009,99 m ²	8071,79 m ²	21798,92 m ²
		Mittelwert	45,98 m ²	59,41 m ²	77,61 m ²	56,04 m ²
		Streuung	28,46 m ²	37,62 m ²	66,14 m ²	93,81 m ²
	Gebüsch	Anzahl		69	36	105
Höhe		Mittelwert	4,93 m	4,97 m	4,62 m	5,06 m
		Streuung	0,94 m	0,87 m	1,08 m	1,32 m
Schirm- fläche		Gesamt	1217,75 m ²	697,97 m ²	1831,40 m ²	166,28 m ²
		Mittelwert	17,65 m ²	19,37 m ²	17,44 m ²	16,63 m ²
		Streuung	10,33 m ²	8,80 m ²	7,19 m ²	5,61 m ²
Kronen- volumen		Gesamt	3065,43 m ³	1734,03 m ³	4309,50 m ³	433,86 m ³
		Mittelwert	44,42 m ³	48,16 m ³	41,04 m ³	43,39 m ³
		Streuung	31,05 m ³	23,89 m ³	22,72 m ³	19,84 m ³
Kronen- mantel- fläche		Gesamt	3586,33 m ²	1983,45 m ²	5171,85 m ²	523,75 m ²
		Mittelwert	51,98 m ²	55,10 m ²	49,26 m ²	52,38 m ²
		Streuung	19,05 m ²	15,98 m ²	16,14 m ²	16,48 m ²
Hecke	Anzahl		15	12	31	40
	Höhe	Mittelwert	2,66 m	2,21 m	3,33 m	4,55 m
		Streuung	1,19 m	0,97 m	1,54 m	0,88 m
	Schirm- fläche	Gesamt	234,05 m ²	245,78 m ²	413,16 m ²	293,16 m ²
		Mittelwert	15,69 m ²	20,48 m ²	13,33 m ²	11,70 m ²
		Streuung	10,87 m ²	22,05 m ²	11,32 m ²	10,87 m ²
	Kronen- volumen	Gesamt	816,90 m ³	857,08 m ³	2203,22 m ³	2164,07 m ³
		Mittelwert	54,46 m ³	71,42 m ³	71,07 m ³	54,10 m ³
		Streuung	32,06 m ³	88,69 m ³	67,66 m ³	89,51 m ³
	Kronen- mantel- fläche	Gesamt	2364,42 m ²	1399,01 m ²	868,03 m ²	5932,83 m ²
		Mittelwert	166,17 m ²	174,98 m ²	43,40 m ²	148,32 m ²
		Streuung	169,39 m ²	199,12 m ²	44,01 m ²	265,53 m ²
Strauch (einzeln)	Anzahl		116	76	161	85
	Höhe	Mittelwert	3,86 m	2,80 m	3,32 m	5,01 m
		Streuung	1,17 m	1,45 m	1,20 m	0,68 m
	Schirm- fläche	Gesamt	715,78 m ²	466,48 m ²	772,25 m ²	295,96 m ²
		Mittelwert	6,17 m ²	6,14 m ²	4,80 m ²	3,48 m ²
		Streuung	2,29 m ²	2,54 m ²	2,62 m ²	2,29 m ²
	Kronen- volumen	Gesamt	1466,61 m ³	720,57 m ³	1415,60 m ³	752,55 m ³
		Mittelwert	12,64 m ³	9,48 m ³	8,79 m ³	8,85 m ³
		Streuung	6,93 m ³	7,46 m ³	6,53 m ³	6,15 m ³
	Kronen- mantel- fläche	Gesamt	2786,51 m ²	1397,71 m ²	2945,70 m ²	1826,57 m ²
		Mittelwert	24,02 m ²	18,39 m ²	18,30 m ²	21,49 m ²
		Streuung	9,83 m ²	10,95 m ²	9,82 m ²	8,46 m ²

Tabelle 4.13: Statistische Angaben zur Luftbildkartierung im Ausschnitt *Thiehaus* für die Jahrgänge 1957 bis 1993 getrennt nach Objektklassen

Betrachtet man für diesen Ausschnitt des Untersuchungsgebietes die Überschirmungsprozente, das heißt den kumulierten Anteil der Überschirmungsfläche der Bäume und Sträucher an der Gesamtfläche, so wird in den vier Aufnahmejahrgängen nicht mehr als ein Viertel der Fläche überschirmt.

Der prozentuale Anteil der Bäume an der Gesamtüberschirmungsfläche zeigt eine zyklische Tendenz. Bis zum Erreichen einer durch die Bewohner bzw. Eigentümer tolerierten maximalen Überschirmung steigt der Anteil der Bäume an. Wird der individuell festgelegte maximale Grünflächenanteil je Grundstück überschritten, werden Bäume entnommen und durch Sträucher ersetzt.

4.32 Grünanteile der Nutzungs- und Baustrukturtypen

Basierend auf der siedlungsökologischen Gliederung des Untersuchungsgebietes (siehe Abbildung 3.2 auf Seite 41) wurden durch Verschneidung im Geo-Informationssystem die Grünanteile der verschiedenen Nutzungs- und Baustrukturtypen berechnet.

Zur Charakterisierung des Grünanteils wurden die Überschirmungsflächen, die Kronenvolumina und die Kronenmantelflächen herangezogen.

Baustrukturtypen	mittlere Überschirmung	minimale Überschirmung	maximale Überschirmung	mittlere Überschirmung					
				10%	20%	30%	40%	50%	60%
dichte Wohnbebauung	15,39%	1,88%	50,29%						
Wohnbebauung mit Abstandsgrün	23,25%	3,07%	56,31%						
Wohnbebauung mit Gärten	27,61%	3,26%	72,02%						
Industrieflächen	12,13%	1,32%	42,19%						
Parkanlagen	52,23%	31,75%	75,78%						
Brachflächen	31,95%	2,09%	87,84%						
Friedhöfe	33,98%	24,63%	43,33%						

Tabelle 4.14: Überschirmungsanteile getrennt nach Baustrukturtypen

Die Tabelle 4.14 zeigt die Überschirmungsanteile getrennt nach Baustrukturtypen. Im Mittel findet sich die geringste Überschirmung durch Bäume und Sträucher auf den Industrieflächen. Innerhalb der Wohnbereiche steigt der mittlere Grünflächenanteil von der *dichten Wohnbebauung* über die *Wohnbebauung mit Abstandsgrün* zur *Wohnbebauung mit Gärten* von etwa 15% auf 27% an.

Die als *Parkanlagen*, *Brachflächen* und *Friedhöfe* ausgewiesenen Grünflächen besitzen den höchsten Überschirmungsanteil mit Bäumen und Sträuchern.

Eine weitere Kenngröße zur Beschreibung der Grünflächenanteile ist die ‘‘Volumen-äquivalenthöhe‘‘ (FELDKÖTTER, 1994). Sie wird durch folgende Gleichung hergeleitet:

$$\text{Volumenäquivalenthöhe} = \frac{\sum \text{Kronenvolumen}}{\text{Grundstücksgröße}}$$

Sie beschreibt damit als theoretischer Wert für eine vollständig mit Bäumen und Sträuchern bestandene Fläche die mittlere Baum- bzw. Strauchhöhe, die zum gleichen Kronenvolumen führen würde. In Tabelle 4.15 sind die Werte für die verschiedenen Baustrukturtypen zusammengestellt.

Baustrukturtypen	mittlere Volumen- äquivalenthöhe	minimale Volumen- äquivalenthöhe	maximale Volumen- äquivalenthöhe	mittlere Volumenäquivalenthöhe						
				2m	4m	6m	8m	10m	12m	
dichte Wohnbebauung	0,62 m	0,04 m	2,11 m							
Wohnbebauung mit Abstandsgrün	2,11 m	0,09 m	22,87 m							
Wohnbebauung mit Gärten	1,75 m	0,02 m	13,60 m							
Industrieflächen	1,62 m	0,01 m	11,87 m							
Parkanlagen	10,83 m	0,10 m	29,07 m							
Brachflächen	1,77 m	0,04 m	4,98 m							
Friedhöfe	1,94 m	1,05 m	2,83 m							

Tabelle 4.15: Volumenäquivalenthöhe getrennt nach Baustrukturtypen

Bei den Wohn- und Industrieflächen hat sich die Rangfolge im Vergleich zu den

Überschirmungsanteilen verändert. Die größte Volumenäquivalenzhöhe weist in dieser Gruppe die *Wohnbebauung mit Abstandsrün* auf. Eine vergleichbare Größenordnung für die Volumenäquivalenzhöhe findet sich für die *Industrieflächen* und die *Wohnbebauung mit Gärten*. Mit nur 62 cm besitzt die *dichte Wohnbebauung* den geringsten Wert.

Die im Untersuchungsgebiet gelegene *Parkanlagen* haben eine durchschnittliche Volumenäquivalenzhöhe von 10 m. Die *Brachflächen* und *Friedhöfe* sind mit 1,77 m bzw. 1,94 m mit den *Wohnbebauungen mit Gärten* vergleichbar.

Die Rangfolge der einzelnen Baustrukturtypen, wie sie sich bei der Kenngröße Volumenäquivalenzhöhe herausgebildet hat, findet sich auch beim Mantelflächen-Grundflächen-Quotienten. Die Tabelle 4.16 zeigt die berechneten Kenngrößen.

Baustukturtypen	mittlere Grünhöhe	minimale Grünhöhe	maximale Grünhöhe	mittlere Grünhöhe							
				1	2	3	4	5	6	7	
dichte Wohnbebauung	0,78	0,16	2,40	■							
Wohnbebauung mit Abstandsrün	2,88	0,07	22,81	■	■	■					
Wohnbebauung mit Gärten	2,06	0,10	31,87	■	■	■					
Industrieflächen	1,94	0,01	11,49	■	■	■					
Parkanlagen	7,14	0,12	25,61	■	■	■	■	■	■	■	■
Brachflächen	1,41	0,09	3,45	■	■	■					
Friedhöfe	1,73	1,37	2,09	■	■	■					

Tabelle 4.16: Mantelflächen-Grundflächen-Quotient getrennt nach Baustrukturtypen

Ein Wert von 1 für den Mantelflächen-Grundflächen-Quotienten bedeutet, daß die von den Bäumen und Sträuchern gebildete Oberfläche der Oberfläche des Erdbodens entspricht. Nur bei der *dichten Wohnbebauung* wird der Wert von 1 für diesen Quotienten unterschritten. Bei den anderen Baustrukturtypen ist die durch die Bäume und Sträucher gebildete Oberfläche bis zu 7 mal größer als die Grundfläche.

4.33 Grünversorgung

Die Kennziffer Grünversorgung beschreibt die punktuelle Erreichbarkeit von Grünflächen.

Für das Untersuchungsgebiet wurde basierend auf einem 5m * 5m Raster für jeden dieser Rasterpunkte die Grünversorgung hergeleitet. Die punktuelle Erreichbarkeit der Grünflächen wurde für zwei verschiedene Distanzen mit einer Fenstergröße von 10m * 10m bzw. 100m * 100m ermittelt. Zur Charakterisierung wurden von allen in den Bereich der Fenster fallenden Bäumen die Kronenschirmflächen und die Kronenvolumina aufsummiert (Abbildung 4.29) und daraus flächenbezogen das Überschirmungsprozent und die Volumenäquivalenthöhe errechnet.

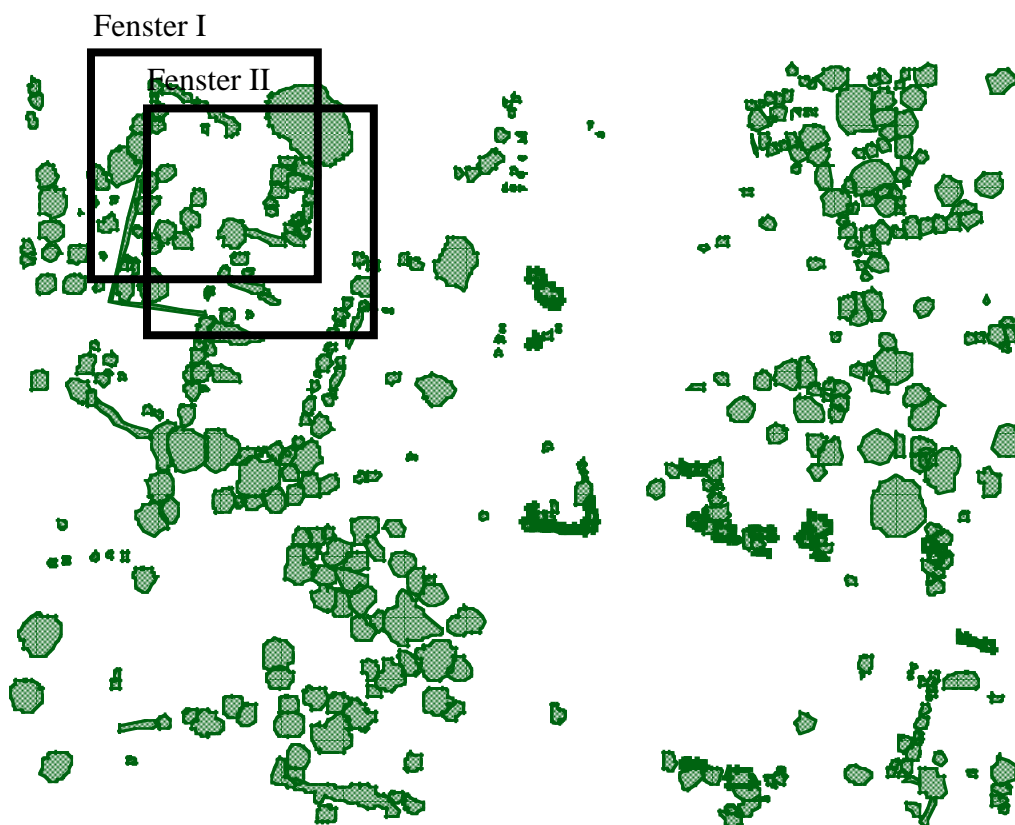


Abbildung 4.29: Rasterabfrage zur Berechnung der Grünversorgung

Die Grünversorgung, die für die 10m * 10m großen Fenster berechnet wurde, wird im Folgenden als lokale und die der 100m * 100m Fenster als regionale Grünversorgung (prozentuale Überschirmung / Volumenäquivalenthöhe) bezeichnet.

Beim 5m * 5m Raster ergeben sich für benachbarte Fenster überlappende Bereiche, so daß einzelne Bäume somit gleichzeitig von verschiedenen Fenstern erfaßt werden. Zwischen den einzelnen Rasterzellen werden auf diese Weise für die Kennziffern weiche Übergänge (gleitende Mittelwerte) erzielt. Fenster mit großer Ausdehnung verstärken diesen Effekt. Bei den am Rand des Untersuchungsgebietes liegenden Rasterpunkten wurde nur der Flächenanteil innerhalb des Untersuchungsgebietes berücksichtigt und die aufsummierten Kronenschirmflächen und Kronenvolumina entsprechend gewichtet.

Die Abbildung 4.30 auf Seite 137 stellt die Grünversorgung für das Untersuchungsgebiet dar. Sie wurde mit der Kennziffer "prozentuale Überschirmung" quantifiziert.

Für das Untersuchungsgebiet zeigt Tabelle 4.17 das entsprechende Histogramm der "prozentualen Überschirmung".

Überschirmung	Häufigkeit	5%	10%	15%	20%	25%	30%
< 5%	21,4%						
5% - < 10%	14,1%						
10% - < 15%	13,8%						
15% - < 20%	18,8%						
20% - < 25%	15,0%						
25% - < 30%	7,8%						
30% - < 35%	4,1%						
35% - < 40%	2,3%						
40% - < 45%	1,0%						
≥ 45%	1,6%						

Tabelle 4.17: Häufigkeitsverteilung der regionalen Überschirmung als Ergebnis einer Rasterabfrage mit 100m * 100m Fenstergröße

Bei etwa 85% aller Rasterzellen beträgt die Überschirmung weniger als ein Viertel der Grundfläche. Höhere Überschirmungsprozente finden sich nur im Einflußbereich der Parkanlagen und in den Zentren dicht begrünter Wohnbaublöcke.

Die im Untersuchungsgebiet vorliegende Zweiteilung zwischen Wohn- und Industrie- flächen kann auch im Histogramm beobachtet werden. Das Histogramm zeigt einen Gipfel bei einer Überschirmung von < 5% und einen weiteren Gipfel bei 15% - < 20%

Überschirmung. Die niedrigeren Überschirmungsprozente können in der Abbildung 4.30 in den Industriegebieten, entlang der Hauptverkehrsachsen und im Bereich eines Wohngebietes an der östlichen Grenze des Untersuchungsgebietes lokalisiert werden. Der zweite Gipfel der Häufigkeitsverteilung wird durch die älteren Wohnbereiche geprägt.

Für die Volumenäquivalenzhöhe ergibt sich ein vergleichbares Bild (Tabelle 4.10).

Überschirmung	Häufigkeit	5%	10%	15%	20%	25%	30%
< 0,25m	28,6%						
0,25m - < 0,50m	17,6%						
0,50m - < 0,75m	21,6%						
0,75m - < 1,00m	18,8%						
1,00m - < 1,25m	17,7%						
1,25m - < 1,50m	5,9%						
1,50m - < 1,75m	4,1%						
1,75m - < 2,00m	2,7%						
2,00m - < 2,25m	1,7%						
≥ 2,25m	5,3%						

Tabelle 4.18: Häufigkeitsverteilung der regionalen Volumenäquivalenzhöhe als Ergebnis einer Rasterabfrage mit 100m * 100m Fenstergröße

Die Zweigipfligkeit ist auch hier zu beobachten.

Der Vergleich der lokalen (10m * 10m Fenster) mit der regionalen (100m * 100m Fenster) Grünversorgung kann unter anderem durch die Differenzbildung der punktuell berechneten prozentualen Überschirmung erfolgen. Diese Differenz zeigt auf, welche Bereiche als Quelle oder Senke auf die Grünversorgung einwirken.

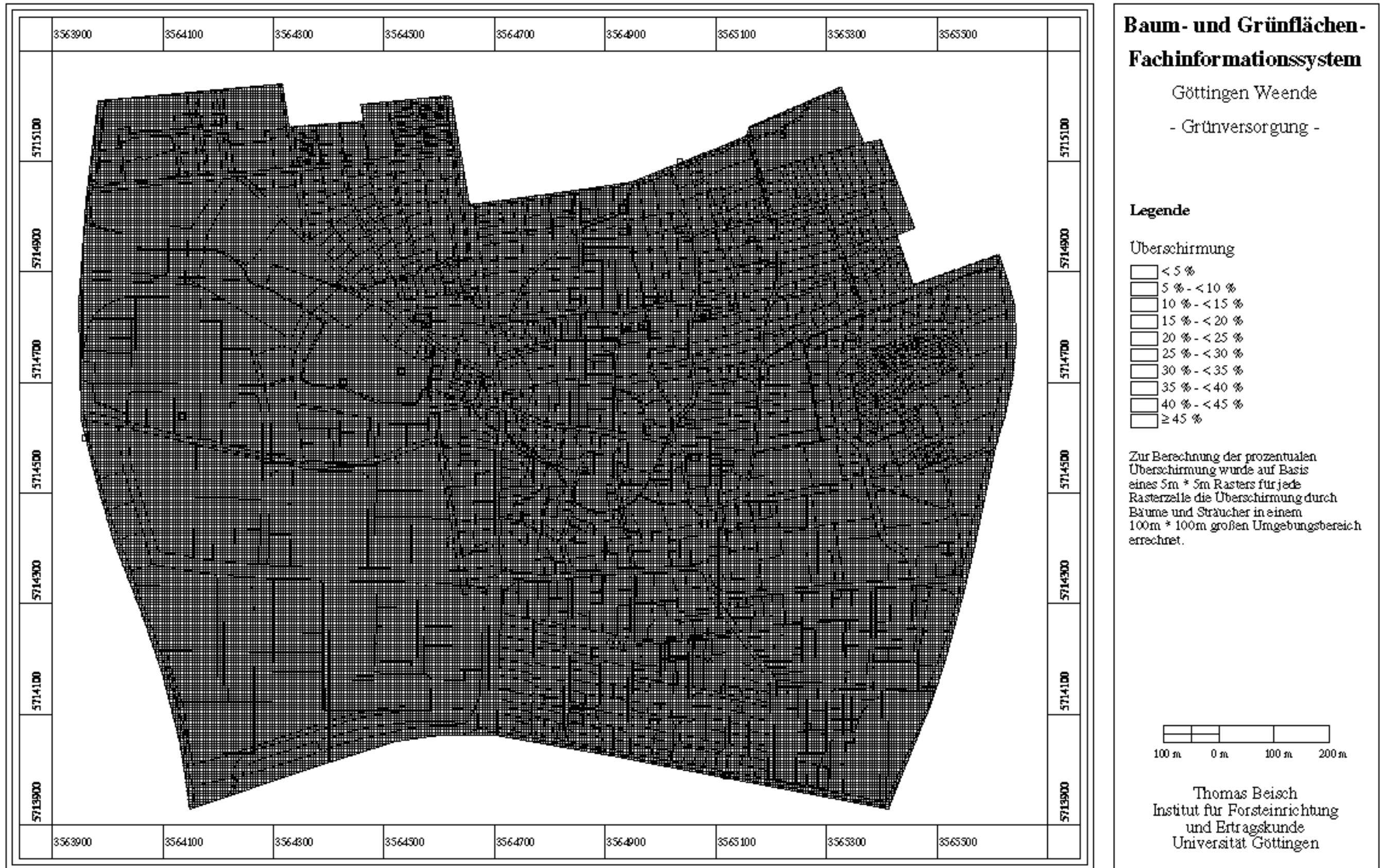


Abbildung 4.30: Überschirmungsprozente für die Fenstergröße 100m * 100m

Die Abbildung 4.19 zeigt das Histogramm der berechneten Häufigkeitsverteilung. Negative Überschirmungsdifferenzen sagen aus, daß die lokale Überschirmung geringere Werte annimmt als die regionale innerhalb der 100m * 100m Abfragefenster. Diese Bereiche bilden lokale Senken hinsichtlich der Grünversorgung. Bei den Quellen überwiegt die lokale gegenüber der regionalen prozentualen Überschirmung. Für das Untersuchungsgebiet Weende kann eine glockenförmige Verteilung um den Nullpunkt beobachtet werden. Für diese Bereiche entspricht die lokale etwa der regionalen Grünversorgung. Sie finden sich dort, wo geringe strukturelle Unterschiede bestehen. Dies kann in Bereichen mit räumlich gleichmäßiger Grünversorgung oder zumindest annähernd gleichgerichteter Veränderung der Grünversorgung beobachtet werden.

Überschirmungs-Differenz	Häufigkeit	5%	10%	15%
-40% - < -35%	0,1%			
-35% - < -30%	0,2%			
-30% - < -25%	0,4%			
-25% - < -20%	1,1%			
-20% - < -15%	2,7%			
-15% - < -10%	4,7%			
-10% - < -5%	7,5%			
-5% - < 0%	14,7%			
≥0% - < 5%	3,6%			
5% - < 10%	2,9%			
10% - < 15%	2,6%			
15% - < 20%	2,5%			
20% - < 25%	2,4%			
25% - < 30%	2,2%			
30% - < 35%	2,2%			
35% - < 40%	2,1%			
45% - < 50%	2,1%			
50% - < 55%	2,1%			
55% - < 60%	2,2%			
60% - < 65%	2,4%			
65% - < 70%	3,0%			
70% - < 75%	3,8%			
75% - < 80%	4,8%			
80% - < 85%	6,2%			
85% - < 90%	4,9%			
90% - < 95%	2,3%			
≥ 95%	0,8%			

Tabelle 4.19: Häufigkeitsverteilung der prozentualen Überschirmungsdifferenzen (lokale minus regionale prozentuale Überschirmung)

Auf räumlich stark strukturelle Unterschiede der Grünversorgung weist der zweite

Gipfel der Häufigkeitsverteilung (bei 80% - 85%) in Tabelle 4.19 hin. Hier liegen Bereiche mit sehr hoher "kleinflächiger" und geringer "großflächiger" prozentualer Überschilderung nebeneinander.