

5. Diskussion

5.1 Baum- und Grünflächenfachinformationssystem

Das Baum- und Grünflächenfachinformationssystem soll nachfolgend bezüglich seiner technischen und seiner fachlichen Komponenten bewertet werden.

Technische Komponenten

Das Konzept "Maßstabsorientierte einheitliche Raumbezugsbasis für kommunale Informationssysteme (MERKIS)" gibt für die Entwicklung kommunaler Fachinformationssysteme die grundlegende Struktur vor. Konkret bedeutet dies, daß neben der Verwendung eines einheitlichen, fachunabhängigen Speichermodelles innerhalb der Kommunen für alle topographischen und fachbezogenen Geometriedaten die einheitliche Datenbankschnittstelle (EDBS) als Kommunikationsschnittstelle zu anderen Gebietskörperschaften, Behörden und sonstigen Stellen eingesetzt werden soll.

Die Kommunikation über die einheitliche Datenbankschnittstelle (EDBS) ist damit sowohl für den Import der automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) wie auch für die Bereitstellung der Baum- und Grünflächeninformationen zu anderen Fachverwaltungen zwingend vorgeschrieben. Die EDBS ist jedoch nicht nur als Schnittstelle sondern gleichzeitig als Datenmodell zu verstehen. Sie sieht eine objektorientierte Speicherung nach der Folien- und Objektartengliederung vor. Um diese Vorgaben auch für die Grünflächenverwaltung zu erreichen wurde von der NUTZERGEMEINSCHAFT ALK-GIAP (1995) ein Objektschlüsselkatalog für die Speicherung der Baum- und Grünflächeninformationen entwickelt.

Im Objektschlüsselkatalog sind die verschiedenen Objekte hinsichtlich ihrer Eigenschaften (Ausgestaltung, minimale Flächengröße etc.) konkretisiert. Der Objektschlüsselkatalog beinhaltet damit gleichzeitig eine Anweisung für die Datenerfassung. Er kann im Sinne von BILL (1997) als Metadatenbank verstanden werden. Der Objektschlüsselkatalog besitzt eine offene Struktur, so daß er kommunalverwaltungsspezifisch angepaßt und erweitert werden kann. Die Struktur der Folien- und Objektartengliederung der ALK hat sich in dieser Untersuchung als praktikabel

erwiesen.

Hinsichtlich der Speicherung objektorientierter Informationen muß grundsätzlich festgestellt werden, daß eine relationale Datenbank nur eingeschränkt zu diesem Zweck eingesetzt werden kann. Objektorientierte Datenbanken, die sich derzeit noch in der Entwicklungsphase befinden (REINHART, 1995; FRITSCH und ANDERS, 1996), werden zukünftig vermehrt für diese Anwendungen nutzbar sein. Dagegen kann eine relationale Datenbank nur dann für die Speicherung eines objektorientierten Datenmodelles Anwendung finden, wenn die Anzahl und damit die Struktur der verschiedenen Objekte begrenzt und im vorhinein bekannt ist. Diese Einschränkung begründet sich damit, daß für jedes Objekt das konkrete Datenmodell in Form von miteinander relational verbundenen Tabellen abgebildet werden muß. Die Objektschlüsselkataloge (OSKA) geben für die Speicherung der automatisierten Liegenschaftskarte und der Baum- und Grünflächeninformationen einen derartig umgrenzten und aufeinander abgestimmten Rahmen vor.

Zum Beispiel werden beim Import der ALK-Daten die Objekte in strukturell gleichartige Komponenten zergliedert und in getrennten Tabellen abgelegt. Für ein ALK-Objekt werden entsprechend Abbildung 4.6 auf Seite 87 seine Eigenschaften in fünf miteinander relational verbundene Dateien zergliedert. Mit diesem Vorgehen ist zwar eine vollständige Speicherung der Daten möglich, jedoch wird durch die Zergliederung die Datenbankabfrage erschwert, denn der Nutzer muß die Struktur der Datenbank kennen. Im Gegensatz dazu wurde im entwickelten Programm *Arboretum urbanum* mit dem Suchgenerator (Abbildung 4.12 auf Seite 99) ein Werkzeug integriert, daß für den Nutzer unabhängig von seiner Kenntnis über die Datenbankstruktur jegliche Abfragen ermöglicht. Über die Zuordnung der Datenbankfelder zu den jeweiligen Datenbanktabellen wird, vom Nutzer unsichtbar, durch das Programm automatisch die Abfrage an die richtige Datenbanktabelle gestellt.

Für die Speicherung von Punkt-, Linien und Flächeninformationen können in einem relationalen Datenbanksystem unterschiedliche Ansätze Anwendung finden. Zum einen ist eine Zergliederung des umschließenden Flächenpolygones in die einzelnen Linienstücke und Punkte möglich, wobei die Flächen-, die Linien- und die Punktdaten in getrennten Tabellen verwaltet werden (BARTELME, 1994). Dieses Datenmodell

ermöglicht zusätzlich die Erzeugung und die Speicherung topologischer Informationen. Ein anderer Ansatz ist die Speicherung der Flächenpolygondaten als geschlossener Polygonzug in Textfeldern ohne Angaben zur Topologie. Aus Sicht der Datenbankentwicklung erfordert der erste Ansatz die Integration von Methoden zur automatischen Erzeugung der Topologie. Dieses Vorgehen ist insgesamt sehr rechenintensiv, da bei der Datenerfassung und bei der räumlichen Datenabfrage stets Objekte gebildet bzw. zergliedert werden müssen. Im Programm *Arboretum urbanum* ist daher der zweite Ansatz implementiert. Für die ALK-Flächen- und Linien-Objekte werden aus den einzelnen Linienteilstücken geschlossene bzw. offene Polygone gebildet und in einem Textfeld gespeichert. Die Baum- und Grünflächendaten liegen bereits nach der Erfassung als geschlossene Polygonzüge vor. Der geometrische Bezug erfolgt durch die Bildung räumlicher Indizes. Sie ermöglichen einen deutlich schnelleren Datenzugriff.

Für die Umsetzung des objektorientierten Datenmodelles in die relationale Datenbankstruktur hat sich das von REINHART (1996) erweiterte *Entity-Relationship*-Modell (CHEN, 1976) als praktikabel erwiesen. Das strukturierte Vorgehen erleichtert die Datenbankentwicklung und ermöglicht das frühzeitige Erkennen strukturell bedingter potentieller Datenanomalien.

Im Programm *Arboretum urbanum* ist durch die Verwendung der Programmkomponenten *MapGrafix* und der Datenbankentwicklungsumgebung *4th Dimension* die Geodatenbank von der Sachdatenbank getrennt. Die Kommunikation zwischen den Programmen erfolgt durch *AppleEvents*, also Befehle auf Betriebssystemebene, die für den Nutzer unsichtbar im Hintergrund von den Programmen versandt und empfangen werden. Diese Trennung bringt verschiedene Vor- und Nachteile mit sich. Als wesentlicher Vorteil dieses Vorgehens ist die unabhängige Wahl der Geodatenbank von der Sachdatenbank im Vergleich zu einer integrierten Lösung zu sehen. Durch die Trennung können verschiedene Datenvisualisierer mit der Sachdatenbank kombiniert werden. Andererseits ist auch die isolierte Nutzung der Sachdatenbank möglich. Betrachtet man die Anforderungen eines kommunalen Grünflächenamtes an die Verwaltung der Baum- und Grünflächeninformationen, so finden sich Arbeitsbereiche mit ausschließlich attributiver und Arbeitsbereiche mit geometrisch-attributiver Abfrage. Eine Trennung zwischen der Sachdaten- und der Geodatenbank ermöglicht

für diesen Fall eine unterschiedliche Ausstattung der verschiedenen Arbeitsplätze und führt damit im Vergleich zu einer jeweils vollständigen Ausstattung zu einer deutlichen Reduktion der entstehenden Kosten für die Bereitstellung der Geodatenvisualisierer. Bedingt durch die parallele Nutzung der Sachdatenbank als Datenbankserver für verschiedene Arbeitsplätze steht zudem allen Nutzern ständig der aktuelle Datenbestand zur Verfügung. Alle Mitarbeiter eines kommunalen Grünflächenamtes arbeiten mit einem Datensatz.

Der letztgenannte Vorteil wirkt sich hinsichtlich der Zugriffsgeschwindigkeit auf die Datenbank als wesentlicher Nachteil der Trennung von Geo- und Sachdatenbank aus. Besonders die Verwaltung der Geometriedaten innerhalb der relationalen Datenbank ist sehr rechenintensiv. Für die am häufigsten vorkommende Fragestellung der Punkt-in-Fläche-Verschneidung, wie sie bei der Zuordnung von Baumobjekten zu Flurstücken bzw. Parkanlagen notwendig wird, ergeben sich auf dem eingesetzten Rechner (*Apple PowerMacintosh 6100/66*, *Speedmark*¹³ 1,0) Zugriffszeiten von etwa 1-2 Sekunden. Bei der Rechnerleistung der aktuellen Modelle (*Speedmark* 4,5 - 5,0) wird diese Zugriffszeit unter einer Sekunde und damit für den Nutzer wieder im komfortablen Bereich liegen. Da diese geometrische Verschneidung jedoch nur beim Import oder bei der direkten Digitalisierung in der Geodatenbank zum Tragen kommt, kann die entstehende Zeitverzögerung insgesamt als unbedeutend bewertet werden.

Der Trend zur einheitlichen Verwaltung der Geo- und Sachdaten innerhalb einer relationalen Datenbank findet sich auch in aktuellen Entwicklungen der kommerziellen GIS-Hersteller *IBM*, *ESRI*, *MapInfo* und *Intergraph*. Sie erweitern damit ihre aktuellen Produktreihen um mehrplatzfähige Datenbankserver. Die Nutzung des Internets/Intranets gewinnt dabei zunehmend an Bedeutung, so daß bereits verschiedene kommunale Informationssysteme auf dieser Technologie aufbauen (GREVE et al., 1997).¹⁴

Die für die Entwicklung eingesetzten Programmkomponenten *MapGrafix* und *4th*

-
13. Mit der *Speedmark* kann die in der Praxis erreichbare Leistung eines Rechners quantifiziert werden. Die Gesamtleistung wird durch die Leistung des Prozessors, der Festplatten, des Grafiksystems und des Systembusses bestimmt.
 14. Eine detaillierte Beschreibung zur Nutzung von GIS-Anwendungen im Internet findet sich bei FITZKE et al. (1997).

Dimension eignen sich gut für die Erstellung eines Baum- und Grünflächenfachinformationssystemes. Die Architektur der Datenbank, die sowohl als Einzelplatz- wie auch als Serverversion vertrieben wird, ermöglicht eine problemlose Anpassung an Kommunen mit unterschiedlicher Größe. Die eingesetzte Geodatenbank *MapGrafix* weist dagegen hinsichtlich der bearbeitbaren Datenmenge Einschränkungen auf, so daß für größere Städte die Geodaten getrennt nach Ortsteilen oder entsprechend kleineren Ausschnitten in der Geodatenbank verwaltet werden sollten.

Fachliche Komponenten

Für die Speicherung und Verwaltung der Baum- und Grünflächendaten bietet die Nutzung der EDV im Vergleich zu den noch vielfach analog vorliegenden Baum- und Grünflächenkatastern große Vorteile.

Derartig umfassende Datenmengen, wie sie bereits für das exemplarisch in dieser Untersuchung ausgewählte Teilgebiet entstanden, lassen sich auf analoge Weise nicht mehr operational verwalten. Erst durch die Möglichkeit attributiver und / oder räumlicher Abfragen kann der erhobene Datenbestand gewinnbringend für Analysen eingesetzt werden. BITTER (1990) sieht "erst durch die Kombination von Programmpaketen zur Datenaufbereitung und -analyse sowie nach Erstellung einer problemorientierten Benutzerführung die Möglichkeit eines effektiven Einsatzes". Die Hauptaufgaben eines Baum- und Grünflächen-Fachinformationssystemes liegen einerseits in der Dokumentation der Kontrolle im Sinne der Verkehrssicherheit, andererseits in der Bereitstellung von Grunddaten für eine rationelle Pflege innerstädtischer Grünflächen. Die Dokumentation der zeitlichen Entwicklung macht die Speicherung multitemporaler Daten notwendig. Diese Daten können beispielsweise für einen Baum im zeitlichen Ablauf attributiv und auch geometrisch variieren, wobei unter der geometrischen Veränderung nicht die Verlagerung der Baumposition, sondern ausschließlich die Veränderung der Kronengrößen durch Wachstumsvorgänge und Kronenbeschneidungen zu verstehen ist. Wird versucht, gerade diese ökologisch bedeutenden Parameter, wie z.B. Kronenmantelfläche oder Kronenvolumen, in herkömmlichen GIS-Systemen zu verwalten, so muß für jeden Zeitpunkt ein neuer vollständiger Geodatenatz erzeugt bzw. gespeichert werden. Da die Kontrolle im Sinne der Verkehrssicherung als rollende, sich stets wiederholende Inventur zu

verstehen ist, entstünde bei einem herkömmlichen Ansatz zur Verwaltung der Geodaten eine bereits nach kurzer Zeit nicht mehr sinnvoll zu verwaltende Datenmenge. Der im Programm *Arboretum urbanum* implementierte Ansatz, ausschließlich die veränderten Datensätze zu speichern, zeigt hierbei unverkennbar Vorteile.

Die gemeinsame Speicherung von Geometrie- und Sachdaten innerhalb einer relationalen Datenbank wirkt sich auch bei der Aktualisierung der ALK-Daten durch die Vermessungsbehörden günstig aus. Im Konzept der EDBS sind für diesen Zweck sogenannte Fortführungs- und Änderungsdatensätze vorgesehen. Das bedeutet, daß bei Änderung der Grundgeometrien gezielt einzelne Objekte ausgetauscht werden können. Der Datenverarbeitungsaufwand wird damit deutlich reduziert und eine laufende Aktualisierung technisch ermöglicht (PFITZINGER, 1998). Innerhalb von *Arboretum urbanum* müssen daraufhin für die betroffenen Bäume nur neue Flurstücksbezüge hergestellt werden.

Die gemeinsame Speicherung der ALK-, der Baum- und der Grünflächendaten bietet aus Sicht der Datenbankabfrage große Vorteile. Durch die direkte Verschneidung der Baumpositionen mit den Flurstücken wird beim Import der Geometrien unmittelbar der Eigentumsbezug hergestellt. Dieser räumliche Bezug ist für alle städtischen Planungen grundlegend.

Ein weiterer großer Vorteil der Nutzung von GIS-Systemen zur Speicherung raumbbezogener Daten ist in der Möglichkeit ihrer Visualisierung zu sehen. Sie erleichtert das Verständnis komplexer Raumstrukturen, wie sie unter anderem im städtischen Umfeld auftreten. Um diese Möglichkeit allen Nutzern des Baum- und Grünflächeninformationssystemes zur Verfügung zu stellen, kann die Visualisierung einerseits mit der Geodatenbank *MapGrafix* andererseits mit einem speziellen in die Sachdatenbank integrierten Visualisierungsmodul erfolgen.

Durch ein Fachinformationssystem wird ein großer Teil bisher personenabhängig nur durch den aktuellen Stelleninhaber verfügbaren Wissens für andere Bearbeiter nutzbar. Dies wirkt sich insbesondere bei Personalwechsel positiv auf die Einarbeitungszeit des Stellennachfolgers bzw. des -vertreters aus.

Neben den angesprochen Merkmalen kann durch die gezielte Steuerung der Datenerfassung und durch die Automatisierung von Routineaufgaben eine weitere Effizienzsteigerung erzielt werden.

5.2 Inventurmethodik

Das aus Luftbild- und terrestrischer Kartierung kombinierte Inventurverfahren ermöglicht eine flächendeckende und eigentumsübergreifende Erfassung aller innerstädtischen Bäume und Grünflächen.

Die Vorteile des Luftbildeinsatzes liegen, wie bereits von KADRO und KENNEWEG (1973) festgestellt, in der synchronen Erfassung des Zustandes zu einem festgelegten Zeitpunkt, der dauerhaften auswertungsverfahrensneutralen Dokumentation, der Möglichkeit der zeitlichen Trennung zwischen Aufnahme und Auswertung sowie den verringerten Auswertezeiten durch die stationär im Innendienst durchgeführte Kartierung.

Die Nutzung der automatisierten Liegenschaftskarte (ALK) wirkt sich hierbei zweifach positiv auf das Inventurverfahren aus. Zum einen erleichtert sie durch die deutlich vereinfachte Bestimmung der Paßpunktkoordinaten die Orientierung der Luftbilder. Für das Befliegungsjahr 1993 wurde für die beiden Stereomodelle unter Nutzung von ca. 25 Paßpunkten eine mittlere Genauigkeit der Lage und Höhe von kleiner 10 cm erreicht. Nach KRAUS (1990) ist diese Genauigkeit für eine Befliegung mit einem mittlerem Bildmaßstab von 1:10.000 ohne Signalisierung von Paßpunkten als hoch einzustufen. Zum anderen vereinfacht die Nutzung der ALK- Datengrundlage die terrestrische Kartierung. Als Vorteile sind hierbei die sehr gute Orientierung im Gelände zu nennen. Zusätzlich wirkt sich positiv aus, daß durch die Intergration der ALK in die Arbeitskarten die direkte Zuordnung der Bäume zu Flurstücken möglich ist.

Mit der Verfügbarkeit mobiler, leistungsstarker und wetterunabhängiger Datenerfassungsgeräte kann der Inventurablauf weiter vereinfacht werden. Beispiele für die Nutzung sogenannter Pen-Computer stellt HEISIG (1996) vor. Das Programm *Arboretum urbanum* kann ohne Veränderungen auch auf tragbaren Personalcomputern

eingesetzt werden. Um hierbei einen zügigen Arbeitsablauf zu gewährleisten, sollte sich der Datenumfang auf den zu bearbeitenden Ausschnitt beschränken und jeweils vor und nach dem Feldbegang mit dem zentralen Datenbestand innerhalb der Erfassungsstelle (z.B. das kommunale Grünflächenamt) abgeglichen werden. Von kommerziellen Herstellern werden in letzter Zeit vermehrt mobile Datenerfassungsgeräte mit integriertem GPS-Empfänger angeboten. Der GPS-Empfänger dient hierbei zur Bestimmung der Lage. Baumpositionen oder auch der Grenzverlauf von Grünflächen sollen damit erfaßbar sein. Für eine korrekte Lagebestimmung in Sinne einer richtigen Flurstückszuordnung sind dagegen aufwendige GPS-Meßgeräte und Messverfahren notwendig. Daher kann ein alternatives Vorgehen darin bestehen, daß mit dem GPS die ungefähre Lage ermittelt und für den Nutzer der korrekte Kartenausschnitt auf dem Display abgebildet wird. Die anschließende Feinpositionierung sollte jedoch mit Hilfe der ALK manuell erfolgen.

Der visuelle Vergleich zwischen den Ergebnissen der analytischen Luftbildkartierung und der Situation im Gelände ergab eine gute Übereinstimmung bezüglich der Lagerfassung. Hinsichtlich der Vollständigkeit der Erfassung zeigten sich die bereits von FELDKÖTTER (1994) festgestellten Zusammenhänge. Bei der Luftbildkartierung werden vermehrt Objekte mit geringer Dimension (Kronenschirmfläche, Höhe) übersehen. Als Ursachen sind hier einerseits die Überdeckung mit anderen Grünobjekten (z.B. eine Hecke unter Bäumen) sowie die "Verdeckung" durch Gebäude und Schatten zu sehen. Ein weiterer Grund basiert auf dem eingesetzten Luftbildauswertegerät. Mit dem analytischen Stereoplotter KERN DSR 11/18 ist keine Einspiegelung der bisherigen Messungen möglich, so daß auch einzelne Objekte, obwohl freistehend, vom Kartierer übersehen wurden. Im eingeschränkten Rahmen lassen sich daher Verbesserungen durch angepaßte Auswertegeräte erzielen, insbesondere kann durch die Einspiegelung vorhandener (ALK) und erhobener Geometrien (Kronenrandpolygone) eine deutliche Steigerung der Effizienz der Kartierung erwartet werden. Hierzu zeigt KRESSE (1997) beispielhaft für die analytischen Stereoplotter der Firma Zeiss das technische Vorgehen zur direkten Koppelung eines analytischen Luftbildauswertegerätes an Programmpakete zur ALK-Datenerfassung und Datenverwaltung auf. Im Luftbild kann die "Verdeckung" von Objekten durch Gebäude durch den Einsatz von Hochbefliegungen und durch die Nutzung von hochauflösendem Filmmaterial (z.B. dem Kodak High Definition Aerochrome Infrared SO-131) reduziert werden.

PRECHTEL und STRATHMANN (1990) zeigen ein derartiges Vorgehen bei der Erfassung städtischer Flächennutzungen am Beispiel Münchens auf. Die Hochbefliegung wirkt sich damit zwar auf die Vollständigkeit der Lageerfassung positiv aus, die Messung der Objekthöhen und die Ansprache qualitativer Merkmale kann jedoch erschwert werden.

Die im Luftbild gemessenen Kronendimensionen, wie zum Beispiel Kronendurchmesser und Baumhöhe, zeigen einen stochastisch guten Zusammenhang zum Stammumfang. FELDKÖTTER (1994) nutzte zur Herleitung dieser Beziehung den mittleren und den maximalen Kronendurchmesser und konnte über alle Baumarten hinweg für seine Modelle ein multiples Bestimmtheitsmaß von 0,78 erzielen. In dieser Untersuchung wurde zusätzlich der Parameter Baumhöhe in die Regressionsmodelle integriert, so daß sich der Zusammenhang auf ein Bestimmtheitsmaß von 0,85 erhöhen ließ. Da jedoch dieses Modell einen wesentlich erhöhten Meßaufwand und die Nutzung aufwendiger photogrammetrischer Meßgeräte bedingt, wurde zusätzlich überprüft, welcher Zusammenhang durch ausschließliche Nutzung der Kronendurchmesser zu beobachten ist. In diesem einfacheren Modell sank das Bestimmtheitsmaß auf 0,62 und liegt damit deutlich unter dem von FELDKÖTTER festgestellten Zusammenhang. Als Ursache hierfür ist zu nennen, daß FELDKÖTTER für die Herstellung der Beziehung nur diejenigen Bäume mit in die Regression einbezog, die nach terrestrischer Kontrolle keine Kronenschnittmaßnahmen aufwiesen. Für die Vorhersage des Stammumfangs bzw. des Stammdurchmessers müssen daher im Luftbild auch Kronenschnittmaßnahmen erkennbar sein. Dies scheint für eine operationale Anwendung jedoch nicht möglich.

RINGENBERG (1994) schlägt als weiteres Differenzierungsmerkmal für die Stammumfang-Baumhöhenmodelle Standorteigenschaften vor. Er leitet im städtischen Bereich für die Bodenarten Lehm und Sand getrennte Beziehungen her. Wenn für das Stadtgebiet entsprechende Kartengrundlagen vorlägen, könnte durch Nutzung eines Geo-Informationssystemes der räumliche Zusammenhang ermittelt werden und als zusätzlicher Faktor in das Regressionsmodell integriert werden. Ob jedoch dieser einzelne Faktor die kleinstandörtlichen Bedingungen hinreichend gut charakterisiert und als wesentlicher Einflußfaktor für die Stammumfang-Höhen-Beziehung angenommen werden kann, muß in Frage gestellt werden.

Zur Schätzung der Schutzwürdigkeit eines Baumes, die sich unter anderem durch

Überschreitung eines minimalen in der Baumschutzsatzung festgelegten Umfanges ergibt, nutzt FELDKÖTTER (1994) einen sogenannten Prognosestreifen. Dieser Prognosestreifen errechnet sich anhand des multiplen Regressionsmodelles derart, daß für jeden Durchmesserbereich 95% aller Bäume oberhalb der Prognoselinie liegen sollen. Wird anhand des Prognosestreifens für den im Sinne der Baumschutzsatzung vorgegebenen Stammumfang die notwendige minimale Kronendimension bestimmt, so überschreiten mindestens 95 von 100 Bäumen bei größerer Kronendimension den Grenzwert für den Stammumfang. Ob und welche Bäume mit geringerer Kronendimension den vorgegebenen Stammumfang überschreiten, kann mit diesem Modellansatz jedoch nicht beurteilt werden. Alternativ zu diesem Vorgehen wurde daher in dieser Untersuchung zusätzlich ein logistisches Regressionsmodell eingesetzt. Mit diesem Modell, in dem die Baumhöhe, der Kronendurchmesser und die Kronenform als Parameter eingehen, kann für jeden Baum die Wahrscheinlichkeit seiner Schutzwürdigkeit angegeben werden.

Bei einer, wie auch in dieser Untersuchung durchgeführten vollflächigen Kartierung aller Bäume, Sträucher und Grünflächen, entsteht ein großer Erfassungsaufwand. Daher wurde zusätzlich zur visuellen Luftbildauswertung exemplarisch untersucht, ob durch Verfahren automatischer Bildverarbeitung eine flächendeckende Kartierung vereinfacht werden kann. Ziel war hierbei nicht das Erkennen einzelner Bäume bzw. Sträucher sondern die Erfassung der Grünstruktur.

Zur Klassifizierung wurden einerseits spektrale Daten in Form der grünen, roten und infraroten Reflexion, andererseits Objekthöhendaten herangezogen. Die Objekthöhendaten konnten durch den Einsatz von *Softcopy*-Photogrammetrie automatisch als Differenz zwischen digitalem Oberflächenmodell und digitalem Geländemodell hergeleitet werden. Das digitale Geländemodell wurde durch Dreiecksvermaschung anhand der für die Straßenzüge hergeleiteten Höhen flächendeckend berechnet. Zu diesem Zweck wurden die zu den Straßen gehörenden Bildelemente, durch Verschneidung mit dem ALK, automatisch im digitalen Stereoluftbildmodell ausgewählt. Dieses Vorgehen, das für die Bereiche zwischen den Straßenzügen eine gleichmäßige Geländehöhenänderung annimmt, erwies sich für die untersuchten Geländeausschnitte als praktikabel. In stärker kuppertem Gelände kann dieser Ansatz jedoch zu fehlerhaften Objekthöhenberechnungen führen.

Bei den eingesetzten Klassifizierungsverfahren ließ sich eine maximale Klassifizierungsgenauigkeit von 75% - 80% erreichen. Die Modelle, die neben den spektralen Daten auch die Objekthöhe zur Klassifizierung nutzten, lieferten eine um etwa 5% - 10% höhere Klassifizierungsgenauigkeit, wobei vornehmlich die Erkenn- und Trennbarkeit der Baum- und Strauchvegetation verbessert wurde. Der in der Mai-Aufnahme auftretende große Anteil von Schlagschatten kann ursächlich für einen im Vergleich zu Satellitenbilddaten hohen Anteil fehlerhafter bzw. nicht zuordenbarer Bildelemente sein. BÄHR (1997) stellt bei hochauflösenden Satellitenbilddaten ebenfalls eine Abnahme der Klassifizierungsgenauigkeit fest. Als Ursache nennt er eine höhere Detailerkennbarkeit und eine damit verbundene Zunahme der Oberflächenstruktur. BÄHR folgert daraus, daß durch die geringere Generalisierung des Bildinhaltes die bisher eingesetzten Klassifizierungsalgorithmen, wie zum Beispiel der *Maximum-Likelihood*-Algorithmus, für hochauflösende Scannerdaten ungeeignet erscheinen.

Für derartig strukturierte Bilder empfiehlt RICHARDS (1993) den Einsatz von kontext- bzw. texturbasierten Klassifizierungsalgorithmen. Der in dieser Untersuchung neben dem *Maximum-Likelihood*-Algorithmus eingesetzte *ECHO*-Klassifizierer von KETTIG und LANDGREBE (1976) ist dieser Gruppe zuzuordnen. Insgesamt betrachtet, kann der *ECHO*-Klassifizierer jedoch zu keiner deutlichen Verbesserung der Produzentengenauigkeit führen. Dieser Algorithmus erhöht lediglich tendenziell die Verlässlichkeit der zugeordneten Klassen (Nutzer-Genauigkeit), so daß die Zuordnung von Bildelementen in fehlerhafte Klassen verringert wird.

Zur Nutzung der Textur als Klassifizierungsmerkmal wurden verschiedene nicht im *ECHO*-Klassifizierungsalgorithmus implementierte Kenngrößen entwickelt (IRONS und PETERSEN, 1981; SALI und WOLFSON, 1992) und auch zur Klassifizierung des städtischen Siedlungsbereiches erfolgreich eingesetzt (KRÖNERT, 1991; PYKA und STEINNOCHER, 1994; STEINNOCHER, 1997). Bei hochauflösenden Satellitenbilddaten bzw. Luftbildern beobachten die genannten Autoren eine deutliche Verbesserung der Klassifizierungsgenauigkeit im Vergleich zu "pixelorientierten" Klassifizierungsalgorithmen (wie z.B. der *Maximum-Likelihood*-Klassifizierung). Die Ergebnisse bestätigen den auch in dieser Untersuchung festgestellten Trend.

5.3 Analyse der Baum- und Grünflächenstruktur

In dieser Untersuchung wurden beispielhaft drei verschiedene Ansätze zur Analyse der Baum- und Grünflächenstruktur mit Hilfe der Luftbildauswertung und durch Nutzung eines Geo-Informationssystemes vorgestellt.

Zeitreihenanalyse

Alte Luftbilder, die unter anderem von den Luftbildarchiven der Landesvermessungsämter bezogen werden können, ermöglichen eine retropektivische Betrachtung der zeitlichen Entwicklung von Bäumen und Sträuchern im Siedlungsbereich. Um die alten Luftbilder für die Baum- und Grünflächenkartierung einsetzen zu können, sollte die Befliegung innerhalb der Vegetationsperiode erfolgt sein. Durch die Verwendung von panchromatischen schwarz-weiß Luftbildern wird die Erkennbarkeit insbesondere der Strauchschicht stark erschwert, wenn keine vollständige Belaubung vorhanden ist. Bei der Befliegung vom 1.5.1971 war aus diesem Grunde ein erhöhter Erfassungsaufwand notwendig.

Die zeitliche Verfolgung der Entwicklung einzelner Bäume und Sträucher, wie sie im Sinne der permanenten Luftbildstichprobe für Wälder angewandt wird (AKÇA, 1989), ist im städtischen Bereich nur eingeschränkt möglich. Im Gegensatz zu Waldbäumen wird bei städtischen Bäumen und Sträuchern die Entwicklung sehr stark durch den Einfluß des Menschen geprägt, wobei besonders durch Baum- und Strauchschnitte das Erscheinungsbild variieren kann. Sträucher werden häufig an derselben Stelle durch neue ersetzt, so daß im Luftbild zwar an identischer Position ein Objekt erfaßt wird, dieses jedoch nicht zweifelsfrei identifiziert werden kann. Die Verfolgung der zeitlichen Entwicklung sollte sich daher auf einzelne markante Bäume beschränken.

Grünanteile der Nutzungs- und Baustrukturtypen

Zur Charakterisierung der Grünausstattung in den Bereichen verschiedener Nutzungs- und Baustrukturtypen wurden die Übershirmungsflächen, die Kronenvolumina und die Kronenmantelflächen genutzt. Im Gegensatz zu der Untersuchung von KENNEWEG (1975) wurden diese Kennziffern nicht auf die Einwohnerzahl bezogen. Sie sind daher als flächenbezogene Kennziffern zu verstehen.

Die Charakterisierung der Grünausstattung über die drei genannten Kennziffern liefert hinsichtlich der Rangfolge der untersuchten Nutzungs- und Baustrukturtypen ein unterschiedliches Bild. Die Volumenäquivalenzhöhe und der Mantelflächen-Grundflächen-Quotient verhalten sich gleichgerichtet und gegensätzlich zum prozentualen Überschirmungsanteil. Die ersten beiden Kennziffern charakterisieren den dreidimensionalen Raum, während die Überschirmungsprozente nur eine zweidimensionale Betrachtung zulassen. Diese Wirkung zeigt sich besonders gut bei der Wohnbebauung mit Abstandsgrün (Mehrfamilienhausbereiche). Hier finden sich von der Anzahl her wenige Bäume und Sträucher mit häufig großer Dimension. Die Überschirmungsprozente sind daher niedrig, während die Volumenäquivalenzhöhe für das Untersuchungsgebiet im Mittel sogar über der der Wohnbebauung mit Gärten liegt. Für die Charakterisierung der Grünausstattung sollte daher sowohl die überschränkte Fläche wie auch die Volumenäquivalenzhöhe herangezogen werden. Eine ausschließliche Betrachtung der Überschirmungsprozente, wie sie häufig bei der Auswertung von Satellitenbilddaten eingesetzt wird (u.a. MEIBNER et al., 1984; BAYER und HILZ, 1997; HEINZ und SPITZER, 1997), ist für eine sinnvolle Charakterisierung nicht ausreichend.

Innerhalb der verschiedenen Nutzungs- und Baustrukturtypen findet sich eine unterschiedliche Grünausstattung. Für jeden Baustrukturtyp scheint es eine minimal und maximal tolerierte Grünausstattung zu geben. Für den in der Zeitreihenanalyse betrachteten Ausschnitt *Thiehaus* liegt die Grenze der maximalen Grünausstattung bei etwa 23%. Nähert sich die Grünausstattung diesem Wert, so werden Bäume entfernt und durch Sträucher und kleinere Bäume ersetzt.

Für die Hamburger Wohnbebauung stellt RINGENBERG (1994) einen ähnlichen Zusammenhang fest. Hierbei differenziert er zusätzlich innerhalb der einzelnen Baustrukturtypen nach dem Alter der Bebauung. Er stellt für verschiedene Gehölzgruppen (laubwerfend, immergrün) typische Anteile je nach Entstehung der Bebauung fest.

Grünversorgung

Die Grünversorgung, die die punktuelle Erreichbarkeit von Grünflächen charakterisiert, kann erst durch den Einsatz von Geoinformationssystemen operational

ermittelt werden. Sie liefert unabhängig von künstlichen Grenzen flächendeckende, objektive Kennziffern für die Grünversorgung.

Ob die in dieser Untersuchung genutzten Erreichbarkeitszonen (10m * 10m; 100m * 100m) für die Charakterisierung ökologischer Zusammenhänge geeignet sind, muß in weiteren Untersuchungen geklärt werden. Das rechentechnische Vorgehen hingegen weist sie bereits jetzt als praktikabel aus.

Insbesondere für städtebauliche Planungen läßt eine Karte der Grünversorgung, wie sie in Abbildung 4.30 auf Seite 137 dargestellt ist, schnell und einfach Zonen mit hoher und niedriger Grünversorgung erkennen. Der Einfluß der Anlage einzelner Grünflächen kann damit simuliert und raumbezogen bewertet werden.