

**FORSCHUNGSINSTITUT
FÜR INFORMATIONSPERARBEITUNG UND MUSTERERKENNUNG** ▽

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR ANGEWANDTE NATURWISSENSCHAFTEN E.V. (FGAN)

Eisenstockstr. 12 W - 7505 Ettlingen 6

und

INSTITUT FÜR PHOTOGRAMMETRIE UND FERNERKUNDUNG □

UNIVERSITÄT KARLSRUHE

Englerstr. 7 W - 7500 Karlsruhe 1



**Analyse von Luft- und Satellitenbildern zur
automatischen Ermittlung der Bodenversiegelung
städtischer Siedlungsbereiche (I)**

Zwischenbericht zu den
DFG-Vorhaben: Ka 414/9, Ba 686/7

M. Sties □
U. Stilla ▽
Y. Zheng □

FIM Bericht Nr. 241

Ettlingen - Dezember 1992

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	0
Verzeichnis der Abbildungen	2
Verzeichnis der Tabellen	3
Kurzfassung	4
1. Einleitung	5
2. Definitionen der Bodenversiegelung	8
2.1 Versiegelung als spezielle Eigenschaft der Erdoberfläche	9
2.2 Versiegelung auf der Basis amtlicher Nutzungsdaten	9
2.3 Versiegelung im Bezug auf Grundwasserneubildung	10
2.4 Versiegelung im Bezug auf das lokale Kleinklima	11
3. Umsetzung analog vorliegender Daten in rechnerverwendbare Form	14
3.1 Vorliegendes Datenmaterial	14
3.1.1 Luftbilddaten	14
3.1.2 Kartenmaterial	16
3.2 Abtastung	17
3.2.1 Abtastung der Luftbilder	17
3.2.2 Abtastung der DGK5	19
3.2.3 Digitalisierung der DGK5	20
3.3 Registrierung	22
4. Die gemeinsame Datenbasis von IPF und FIM	25
5. Visuelle Interpretation des Versiegelungsgrads	27
6. Objektextraktion aus Bilddaten	28

7. Modellierung	31
8. Kartenanalyse	38
8.1 Ableitungsgraph	38
8.2 Bildbeschreibungsgraph	41
9. Bildanalyse	44
10. Zusammenfassung	46
A.	47
B. Schnittstelle zwischen den Datenbasen ARC/INFO und BPI	48
Literaturverzeichnis	51

Verzeichnis der Abbildungen

3-1	Skizze zur Überdeckung der Luftbilder	14
3-2	Ausschnitt aus einem Farbluftbild vom Maßstab 1 : 6300	15
3-3	Ausschnitt aus einem Farbluftbild vom Maßstab 1 : 40000	15
3-4	Kartenausschnitt der Deutschen Grundkarte 1 : 5000	16
3-5	Beispiele zur Abtastung in einer Rasterung von $50\mu\text{m}$	17
3-6	Beispiel zur Abtastung in unterschiedlicher Rasterung	18
3-7	Abgetasteter Kartenausschnitt	19
3-8	Digitalisierte Konturen	21
3-9	Skizze zur Koordinatentransformation	23
3-10	Beispiel zur Registrierung	24
4-1	Schnittstelle zwischen IPF und FIM	25
6-1	Ergebnis der Objektextraktion (Neuronales Netz)	29
6-2	Ergebnis der Objektextraktion (Mehrschwellenverfahren)	30
7-1	Produktionsnetz	34
7-2	Kartenausschnitt und überlagerte digitale Karte	35
7-3	Darstellung verschiedener Objekttypen	36
8-1	Ableitungsgraph der Kreuzung	39
8-2	Darstellung der Teilobjekte einer Kreuzung	40
8-3	Bildbeschreibungsgraph der Kreuzung	42
8-4	Darstellung der Objekte des Bildbeschreibungsgraphen	43
9-1	Ergebnis der Luftbildanalyse	44
B-1	Auszug aus dem Dump einer DLG-Datei	50

Verzeichnis der Tabellen

2-1	Stufen des Versiegelungsgrades	8
2-2	Versiegelungsklassen mit Bezug auf Rückstreu-Eigenschaften der Erdoberfläche	12
2-3	Versiegelungsklassen mit Bezug auf Grundwasserneubildung	13
7-1	Übersicht zu den verwendeten Produktionen	33
A-1	Daten zum Luftbildmaterial	47

Kurzfassung

Im vorliegenden Bericht sind die folgend dargestellten Arbeitspunkte der ersten Vorhabsphase beschrieben.

Als vorbereitende Arbeiten wurde das vorliegende Datenmaterial (Luftbilder und Kartenmaterial) in rechnerverwendbare Form gebracht. Es wurden 7 Luftbilder komplett, sowie Ausschnitte davon in verschiedenen Auflösungsstufen abgetastet. Zusätzlich erfolgte eine Abtastung eines Ausschnittes aus dem Kartenmaterial. Durch manuelle Digitalisierung wurde eine digitale Karte nach verschiedenen Objektklassen aufgenommen.

Zum Transfer der digitalen Karte in externe Bildverarbeitungssysteme wurde eine Schnittstelle definiert und Schnittstellenmodule erstellt. Zur Nutzung des Kartenwissens erfolgte eine Registrierung zwischen Karte und Luftbild.

In der ersten Phase war zur Bereitstellung des Kontextwissens für die Luftbildanalyse zunächst die digitale Karte zu analysieren. Als Beispiel wurde die Objektebene Strassen ausgewählt, die ein Strassennetz darstellt. Zur Erstellung einer Kartenbeschreibung wurden 5 Objekttypen definiert und 8 Produktionen konzipiert, die in Form von Überprüfungsmodulen implementiert wurden. Mit diesen Überprüfungsmodulen erfolgte für einen Ausschnitt aus der digitalen Karte eine Kartenanalyse, wobei der Analyseablauf durch einen Ableitungsgraphen dokumentiert wurde. Durch Untersuchung des Ableitungsgraphen wurde ein Bildbeschreibungsglyph erzeugt, der den Karteninhalt durch attributierte Objekte und Relationen zwischen den Objekten beschreibt.

Weiterhin wurden Module zur Analyse des Luftbildes implementiert und durch eine Bildanalyse ohne Nutzung von Kontextwissen erste Ergebnisse erzielt.

1. Einleitung

Problembeschreibung

Zur Bestimmung der Bodenversiegelung aus Luft- und Satellitenbildern sind den Bildbereichen dieser Fernerkundungsdaten bestimmte Bedeutungsklassen zuzuweisen. Dies ist z.B. durch visuelle Auswertung der Luftbilder und dazugehöriger Karten möglich. Bei der automatischen Auswertung von Abbildungen der Landoberfläche dominieren bildpunktbezogene Zuordnungsverfahren auf der Basis von multispektral gemessenen Intensitätswerten als Merkmale und spektrale Signaturuntersuchungen. Dabei wird meist versucht, über die in mehreren Spektralbereichen oder zu verschiedenen Zeitpunkten gemessenen Intensitätswerte die Bedeutung der abgebildeten Objekte zu erschließen. Es ist bekannt, daß die ausschließliche Auswertung des Bildsensordesignals durch automatische Verfahren nur in Sonderfällen zur Gewinnung des Bildinhaltes, d.h. der Semantik der in der Abbildung dargestellten Objekte, führen kann. Die zusätzliche Einbeziehung von Kontextinformation, die explizite Modellierung erwarteter Objekte und die Entwicklung von Struktur- und Formerkennungsverfahren sind erforderlich, um Fortschritte bei der automatischen Interpretation von Abbildungen der Landoberfläche im Bezug auf den hier gewählten Anwendungsbereich zu erreichen.

Zielsetzung

Ziel des Vorhabens, das gemeinsam vom Forschungsinstitut für Informationsverarbeitung und Mustererkennung (FIM) und dem Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (IPF) bearbeitet wird, ist die Entwicklung neuer Verfahren zur automatischen Auswertung von Luft- und Satellitenbildern. Die Verfahren sind in einem Rechnerprogrammssystem zu implementieren und in einem Anwendungsbeispiel an Testdaten zu erproben. Als Anwendungsbeispiel dient die Bestimmung des aktuellen Bodenversiegelungsgrades eines locker bis dicht besiedelten städtischen Bereiches. Als Testdaten werden Abbildungen in verschiedenen Maßstäben eines Ausschnittes des Stadtgebietes von Karlsruhe verwendet. Es wird versucht, in relativ großmaßstäbigen Luftbildern eine kontextorientierte automatische Bildauswertung zu erreichen, die neben einer verbesserten Multispektral- und Texturklassifizierung eine Bildstrukturerkennung unter Verwendung sowohl zwei- als auch dreidimensionaler Modelle umfaßt. Als Kontextinformation werden kartographische Darstellungen des Testgebietes verwendet.

Problemlösungsansatz

Im Bereich der Mustererkennung werden zunehmend wissensbasierte Verfahren zur symbolischen Analyse und Beschreibung von Bilddaten eingesetzt. Eine spezielle Variante sind die strukturorientierten hierarchischen Verfahren, die Strukturhierarchien aufbauen, indem komplexe Teilobjekte aus weniger komplexen Teilobjekten zusammengesetzt werden. Bei diesem Ansatz erfolgt die Analyse schrittweise, wobei unter stetem Bezug auf die zu analysierenden Muster Ergebnisse von zunehmendem Abstraktionsgrad entstehen. Zur Strukturanalyse einer Untermenge der in Luftbildern des Testgebietes sichtbaren Objekte wird ein beim FIM entwickelter blackboard-basierter Ansatz [12] verwendet. In dem syntaxorientierten Verfahren werden die zu analysierenden Objekte schrittweise aus immer komplexeren Teilobjekten aufgebaut. Die Teilobjekte sind als Modelle beschrieben. Der Aufbau der Teilobjekte geschieht in unabhängigen Wissensmodulen, die nur über den Datenspeicher miteinander kommunizieren können. In den Wissensmodulen werden Hypothesen über Modelle getestet. Kann eine Hypothese bestätigt werden, so wird ein neues Teilobjekt generiert und bewertet. Eine weitere Untermenge von Objekten wird beim IPF mit Hilfe eines erweiterten KBVision Bildverarbeitungssystems analysiert.

Arbeitsprogramm für die erste Vorhabensphase

Zur **Definition der Bodenversiegelung** wurden unterschiedliche Sichten der Problemstellung zusammengetragen. Die **Herstellung einer aktuellen Istwert-Kartierung** wurde auf einen späteren Zeitpunkt verschoben. Die **Umsetzung analog vorliegender Daten in rechnerverwendbare Form** umfaßte sowohl die Abtastung von Luftbildern als auch die Digitalisierung von Karten. Als Ergänzung bekannter Verfahren wurde ein verbesserter Entwurf eines Verfahrens zur **Objekt-Extraktion** auf der Basis eines Neuronalen Netzes entwickelt.

Zur **automatischen Modellerstellung** wurden Objektbeschreibungen aus der digitalen Karte extrahiert. Als zu untersuchende Objekte wurden zunächst die Straßen und Kreuzungen eines Straßennetzes ausgesucht. Die *Objektbeschreibung* erfolgte in Form eines Graphen, dem sogenannten Bildbeschreibungsgraphen. Zur Generierung des Bildbeschreibungsgraphen ist eine Strukturanalyse in der digitalen Karte durchzuführen. Vor einer Kartenanalyse sind die digitalen Karteninformationen, die aus einer externen Datenbank stammen, zu konvertieren. Zur Kartenanalyse wurden entsprechende Modelle erstellt und durch Überprüfungsprogramme implementiert. Aus dem Ableitungsgraphen, der den Analyseablauf dokumentiert, wird dann der Bildbeschreibungsgraph ge-

wonnen. Für die **Identifikation von Objekten** in Luftbildern ist eine *Bilddatenaufbereitung* durchzuführen. Eine *Teilimplementierung* von Wissensmodulen wurde für das Beispiel Straßennetz durchgeführt. Die *Ergebnisdarstellung* erfolgt durch Überlagerung des Luftbildes mit einer Graphik.

Übersicht

In Kapitel 2 wird zunächst die Definition des Begriffes "Bodenversiegelung" diskutiert. In Kapitel 3 werden das analog und digital vorliegende Datenmaterial dargestellt und die Bilddatenaufbereitung beschrieben. Weiterhin wird auf die Transformation der externen digitalen Kartendaten eingegangen. In Kapitel 4 wird die Schnittstelle zum Datenaustausch zwischen IPF und FIM skizziert. Zur Herstellung der Istwert-Kartierung wird in Kapitel 5 Stellung genommen. Zwei Verfahren der Vorverarbeitung zur Extraktion der Objektprimitive werden in Kapitel 6 umrissen. In Kapitel 7 werden die zur Analyse der Karte implementierten Produktionen beschrieben. Das Analyseergebnis der Karte wird an einem Beispiel in Kapitel 8 dargestellt. Erste Ergebnisse der Luftbildanalyse werden in Kapitel 9 vorgestellt. Mit einer Zusammenfassung in Kapitel 10 schließt die Arbeit ab.

2. Definitionen der Bodenversiegelung

Es ist nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnisse vermutlich nicht möglich, den Begriff "Versiegelung" genau zu definieren. Hier soll stattdessen zunächst eine Zusammenstellung von Gedanken und Informationen genügen. Der Begriff "Versiegelung" wird in mindestens 4 verschiedenen Kontexten diskutiert, die nicht unabhängig voneinander sind:

1. im Zusammenhang mit Rückstreu-Eigenschaften der Erdoberfläche;
2. auf der Basis von behördlichen Realnutzungs-klassifizierungen und amtlichen Statistiken;
3. im Zusammenhang mit der Grundwasserneubildung;
4. im Zusammenhang mit Auswirkungen auf das lokale Kleinklima.

Methoden der Fernerkundung können in allen Ebenen dieser Diskussion mehr oder weniger zur Bestimmung des Versiegelungsgrads der Erdoberfläche beitragen. Wir gehen von einer Einteilung des Versiegelungsgrads in 5 Stufen aus und versuchen, die Stufen durch Beispiele und - wo möglich - durch Definitionen zu erläutern und zu beschreiben. Es werden auch feinere Abstufungen vorgeschlagen (siehe z.B. [10]); eine allgemein akzeptierte Stufenzahl oder eine Standardisierung des Begriffs ist bis heute nicht erkennbar und bei der gegenwärtig dynamischen Entwicklung dieses Themas auch noch nicht zu erwarten. Die 5 Stufen sind in Tabelle 2-1 genannt. Die als Bezeichnung der Stufen

Versiegelungsgrad	Stufe
vollständig unversiegelt	0
mäßig versiegelt	25
halb versiegelt, halb unversiegelt	50
stark versiegelt	75
vollständig versiegelt	100

Tabelle 2-1: Stufen des Versiegelungsgrades

gewählten Zahlen mögen an Prozentzahlen erinnern; sie können sicher nicht als genaue Quantitäten, sondern nur als Anhaltswerte verstanden werden.

2.1 Versiegelung als spezielle Eigenschaft der Erdoberfläche

Als relativ einfach erscheint die Beschreibung der Versiegelung im Bezug auf die Rückstreuungseigenschaften der Erdoberfläche. Durch die Messung der Rückstreuungseigenschaften - z.B. mit Multispektralscanner vom Flugzeug oder vom Satelliten aus - kann die Erdoberfläche in 15 bis 30 verschiedene Oberflächenklassen eingeteilt werden. Die folgende Zusammenstellung (siehe Tabelle 2-2) enthält z.B. eine Liste solcher Klassen und ihren vermuteten Versiegelungsgrad. Bei ausschließlicher Verwendung der Rückstreuungseigenschaften in verschiedenen Spektralbereichen zur Zuordnung in solche Klassen sind die Vertrauenswerte in jede einzelne Entscheidung sehr unterschiedlich: sie reichen von sehr gering (z.B. Unterscheidung zwischen Rasensportanlage und Grünland) bis sehr hoch (z.B. stehendes Wasser, fließendes Wasser). Eine darauf beruhende Bestimmung des Versiegelungsgrades wird deshalb mit mäßigen bis starken Unsicherheiten behaftet sein. Verbesserungen sind möglich durch Verwendung multitemporaler Fernerkundungsabbildungen, z.B. Abbildungen aus verschiedenen Jahreszeiten. Grob vereinfacht kann man sagen, daß - abgesehen von Gewässern und offenem Boden, die vergleichsweise eindeutig zuordenbar sind - mit wachsendem Grünanteil (sichtbares Grün und nahes Infrarot) der Versiegelungsgrad abnimmt. Diese stark vereinfachte Modellierung des Begriffs "Versiegelung" führt allerdings zu Fehlern wegen des Unterschieds zwischen der von oben abgebildeten und der tatsächlichen Erdoberfläche:

- Wie soll ein offener Fels im Vergleich mit einem grün bewachsenen Fels zugeordnet werden?
- Wie soll eine freie Straße im Vergleich mit einer baumbestandenen Allee zugeordnet werden?
- Wie soll ein geschotterter im Vergleich mit einem betonierten Parkplatz zugeordnet werden?
- Wie soll ein Gebäude mit begrüntem Dach zugeordnet werden?

Zur Lösung solcher Fragen soll das hier zu bearbeitende Vorhaben beitragen, indem Kontextinformation als Ergänzung zu den Fernerkundungsdaten verwendet wird.

2.2 Versiegelung auf der Basis amtlicher Nutzungsdaten

Statistische Ämter des Bundes und der Länder führen regelmäßig Erhebungen zur Flächennutzung durch und leiten daraus Daten der Oberflächenversiegelung ab. Die Klassen der amtlichen Statistik wurden jedoch lange vor dem "Zeitalter" der Fernerkundung

festgelegt und gehen deshalb weit über die durch Fernerkundung differenzierbaren Klassen hinaus. Auch sind die Klassen häufig implizit oder undeutlich definiert, so daß ihre Bestimmung nur mit Mitteln der Fernerkundung stark erschwert oder unmöglich wird. Beispiele dieser Klassen sind:

- **Siedlungsfläche:** Gebäude- und Freiflächen, Betriebsflächen (auch Abgrabungsflächen, Mülldeponien usw.), Erholungsflächen (z.B. unbebaute Flächen, die dem Sport oder der Erholung dienen), Verkehrsflächen, Militärübungsplätze, Friedhöfe ...
- **landwirtschaftliche Fläche:** alle Flächen, die dem Ackerbau, der Wiesen- oder Weidewirtschaft, dem Garten- oder dem Weinbau dienen.

Die Klassen sind in der Regel in eine Hierarchie unterschiedlicher Abstraktionslevel sortiert: im genannten Beispiel steht der Begriff "Siedlungsfläche" auf der Stufe höchster Abstraktion, der Begriff "mit einem Einzelhaus bebautes Grundstück" auf der Stufe niedrigster Abstraktion. Eine solche Hierarchie kann z.B. 70 Klassen (Entwurf der Stadtverwaltung Karlsruhe) oder mehr als 80 Klassen (Entwurf des Statistischen Bundesamtes) auf der niedrigsten Stufe der Abstraktion enthalten. Die Zuordnung eines Versiegelungsgrads zu diesen Klassen ist bisher noch nicht bekanntgegeben worden. Es wird deshalb mit sehr vereinfachten Zuordnungen gearbeitet wie z.B.

mit einem Einzelhaus bebautes Grundstück	vollständig versiegelt
Ackerland	vollständig unversiegelt

Die Ausarbeitung eines Zuordnungsschemas zwischen den Klassen der amtlichen Realnutzungsstatistik und den Versiegelungsgraden wäre eine wichtige Voraussetzung für die Standardisierung der Diskussion dieses Themas.

2.3 Versiegelung im Bezug auf Grundwasserneubildung

Wenn die Definition von Versiegelungsstufen der Erdoberfläche nicht zum Selbstzweck, sondern einem wichtigen Anwendungsbereich dienen soll, so wäre der Bezug zur Grundwasserneubildung, d.h. also die Durchlässigkeit der Erdoberfläche für Niederschläge, ein sehr gutes Kriterium. Dies erfordert eine andere Festlegung der Oberflächenklassen, nämlich im Bezug auf die Durchlässigkeit für Wasser; eine solche Klassenliste ist im Zusammenhang mit der Realnutzungskartierung nie diskutiert worden, weil die Zweckbestimmungen stark differieren. Ohne Anspruch auf Genauigkeit und Vollständigkeit

wird hier ein Vorschlag für eine Liste von Klassen der Wasserdurchlässigkeit angeboten (siehe Tabelle 2-3).

Jeder diesbezügliche Vorschlag weist eine Reihe von Unsicherheiten und Schwierigkeiten auf; für die hier vorgeschlagene Liste sind z.B. die folgenden Punkte zu nennen:

1. offener Boden, Brachflächen, Grün- und Parkanlagen in Siedlungsbereichen weisen vermutlich wegen der Benutzung der Flächen durch Menschen (Begehen und Befahren) ein gewisses Maß an Bodenverdichtung auf, weshalb keine volle Wasserdurchlässigkeit gegeben sein wird;
2. landwirtschaftliche Nutzflächen sind sicher weiter zu unterteilen in Abhängigkeit von der Art und Intensität der Nutzung;
3. alle Wasser-, Moor- und Sumpfflächen weisen am Grund eine unterschiedlich stark ausgeprägte Sperre gegen Wasserdurchlässigkeit auf; das Maß der Absperrung zu differenzieren, erscheint ohne Kenntnis der Bodeneigenschaften unmöglich;
4. Besonderheiten im Siedlungsbereich wie z.B. Tiefgaragen unter Grünflächen, wodurch der Wasserstrom zwischen der eigentlich durchlässigen Oberfläche und dem Grundwasser vollständig blockiert ist, oder die gegenteilig wirksame gezielte Versickerung von Regenwasser, das von Dächern abgeleitet wird, können hier keine Berücksichtigung finden.

Methoden der Fernerkundung können hier nur sehr eingeschränkt verwendet werden, weil die Wasserdurchlässigkeit der Objekte an der Erdoberfläche in keinem Spektralbereich direkt abgebildet wird. Kontext wie z.B. Bodenbeschaffenheit, Nutzungsintensität oder Verwendungszweck ist erforderlich, um aus Fernerkundungsdaten den hier beschriebenen Versiegelungsgrad der Erdoberfläche zu bestimmen.

2.4 Versiegelung im Bezug auf das lokale Kleinklima

Die Definition von Versiegelungsstufen mit Bezug auf das lokale Kleinklima greift in den Bereich der Meteorologie hinein. Hier wären Kriterien wie z.B. Erwärmung, Verdunstung, Rauigkeit, Filterwirkung zu beachten. Es scheint klar zu sein, daß diese Parameter praktisch nicht aus Fernerkundungsabbildungen zu entnehmen sind. Es soll deshalb auf eine weitere Ausführung dieser Diskussion verzichtet werden.

	Klassen	Versiegelung
Siedlungsbereich	lockere Bebauung	50
	dichte Bebauung	75
	Innenstadt	100
	Industrie-, Gewerbegebiet	100
	Asphalt-, Betonflächen	100
	Gleisanlagen	25
	Steine, Kies	100
	Deponien	50
	Grün- und Parkanlagen	25
	Sportanlagen ohne Grün	50
	Rasensportanlagen	25
	Kleingartenanlagen	25
	Abraumhalden	25
	Siedlungsbrachflächen	25
	Flur	Ackerland
Grünland		0
Streuobstflächen		0
Obstplantagen		0
Weinanbaugebiete		25
Brachflächen		0
offener Fels		100
Wald	Nadelwald	0
	Mischwald	0
	Laubwald	0
	Lichtungen	0
	Kahlschläge	0
Gewässer	stehendes Wasser	0
	fließendes Wasser	0
Sondergebiete	Moor, Sumpf	0

Tabelle 2-2: Versiegelungsklassen mit Bezug auf Rückstreu-Eigenschaften der Erdoberfläche

	Klassen	Versiegelung
Siedlungsbereich	Gebäude jeder Art	100
	asphaltierte, betonierte Flächen	100
	Gleisanlagen	25
	offener Boden, Brachflächen	25
	Grün- und Parkanlagen	25
	Sand- und Kiesflächen	0
	Schottersteinflächen	75
	Deponieflächen	50
	Abraumhalden	50
Flur	landwirtschaftliche Nutzflächen	0
	Brachflächen	0
	baum- und buschbewachsene Flächen	0
	asphaltierte, betonierte Flächen	100
	offener Fels	100
Wald	Waldflächen	0
	Lichtungen	0
	Kahlschläge	0
Gewässer	alle Wasserflächen	75
Sondergebiete	Moor, Sumpf	75

Tabelle 2-3: Versiegelungsklassen mit Bezug auf Grundwasserneubildung

3. Umsetzung analog vorliegender Daten in rechnerverwendbare Form

3.1 Vorliegendes Datenmaterial

3.1.1 Luftbilddaten

Von dem Stadtgebiet Karlsruhe werden 7 Luftbildtransparente (Ka1 - Ka7) der Größe 230 mm * 230 mm herangezogen¹. Die Bilder wurden aus Flughöhen von 2 km (Ka1-Ka5) und von 6 km (Ka6, Ka7) aufgenommen. Die Bilder Ka1 bis Ka5 liegen im Maßstab 1 : 6300 vor und erfassen je einen Ausschnitt der Erdoberfläche von 1.5 km * 1.5 km. Die Bilder Ka6 und Ka7 liegen im Maßstab 1 : 40000 vor und erfassen je einen Ausschnitt der Erdoberfläche von 9.2 km * 9.2 km. In Abb. 3-1 sind die Überdeckungen der Luftbilder und die Flugrichtung skizziert. Zur Orientierung ist die Lage des Karlsruher Schlosses durch ein Symbol eingetragen. Jeweils ein Ausschnitt aus dem

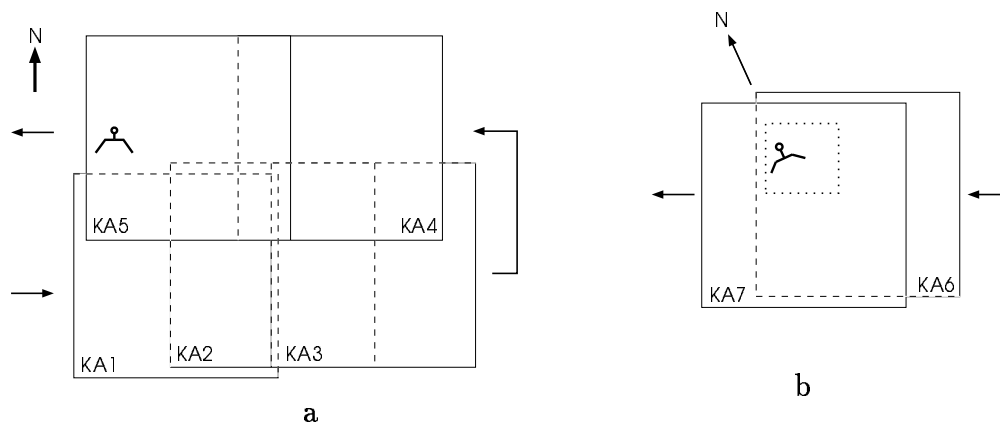


Abb. 3-1: Skizze zur Überdeckung der Luftbilder
a) Luftbilder Ka1 - Ka6, b) Luftbilder Ka6, Ka7

Farbluftbild Ka5 im Maßstab 1 : 6300 und dem Farbluftbild Ka6 im Maßstab 1 : 40000 sind in den Abb. 3-2 und Abb. 3-3 dargestellt.

¹Für die freundliche Bereitstellung der Luftbilder danken wir Herrn StVermDir W.-D. Gierth von der Stadtverwaltung Karlsruhe

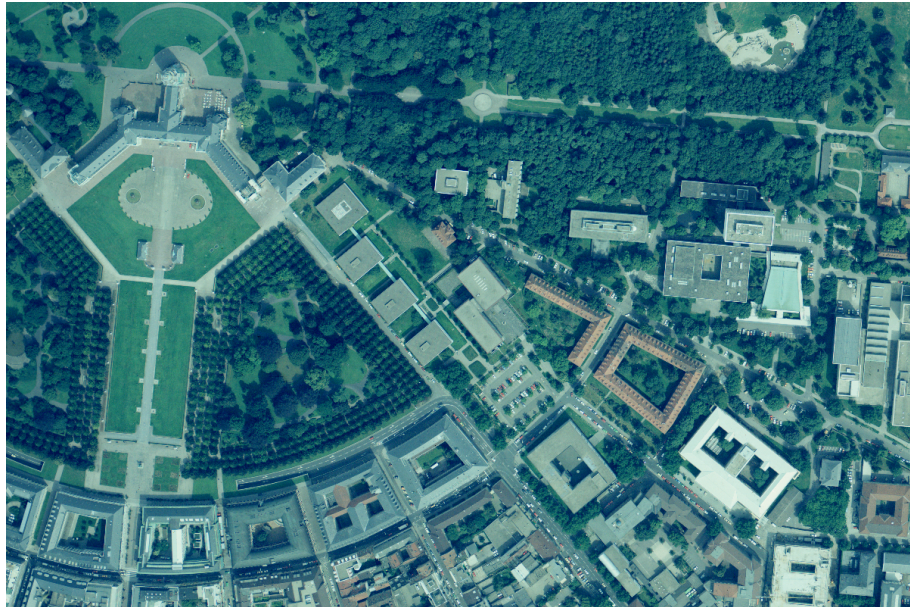


Abb. 3-2: Ausschnitt aus dem Farbluftbild Ka5 im Maßstab 1 : 6300. Die Größe der dargestellten Objekte entspricht der tatsächlichen Größe im Farblufttransparent. Aufnahme vom 01.08.88 12:00 Uhr aus einer Höhe von 2 km mit einer Brennweite von 304.82 mm



Abb. 3-3: Ausschnitt aus dem Farbluftbild Ka6 vom Maßstab 1 : 40000. Die Größe der dargestellten Objekte entspricht der tatsächlichen Größe im Farblufttransparent. Aufnahme vom 07.09.88 15:30 Uhr aus einer Höhe von 6 km mit einer Brennweite von 153.57 mm

3.1.2 Kartenmaterial

Zur Gewinnung von Kontextinformation wird eine topographische Karte, die Deutsche Grundkarte 1 : 5000 (DGK5), verwendet. Topographische Karten sind ortsbeschreibende Karten, welche Siedlungen, Verkehrswege, Gewässer, Geländeformen, Vegetation und eine Reihe sonstiger Erscheinungsformen der Erdoberfläche möglichst genau und vollständig wiedergeben [11]. Diese topographischen Objekte werden in der Karte durch Kartenzeichen (Signaturen) dargestellt und durch Namen oder Schriftsätze näher erläutert. Einen Kartenausschnitt aus der DGK5 Blatt 6916.27 (Karlsruhe) zeigt Abb. 3-4. Der aus dem Kataster entnommene Grundriß ist durch photographische Verkleinerung der Flurkarten entstanden. Katasterkarten (Flurkarten) enthalten Angaben über Grenzen, Lage, Gebäudebestand, Nutzungsart und Nummern der Flurstücke. Die Katasterkarten selbst sind für unsere Aufgabe unzweckmäßig, da die dort abgebildeten Grundstücksgrenzen in der Regel nicht den physikalischen Signalen im Luftbild entsprechen. Die DGK5 ist nach den Gitterlinien des Gauß-Krüger-Koordinatensystems begrenzt und bildet einen Ausschnitt der Erdoberfläche von 2 km * 2 km auf 40 cm * 40 cm ab.

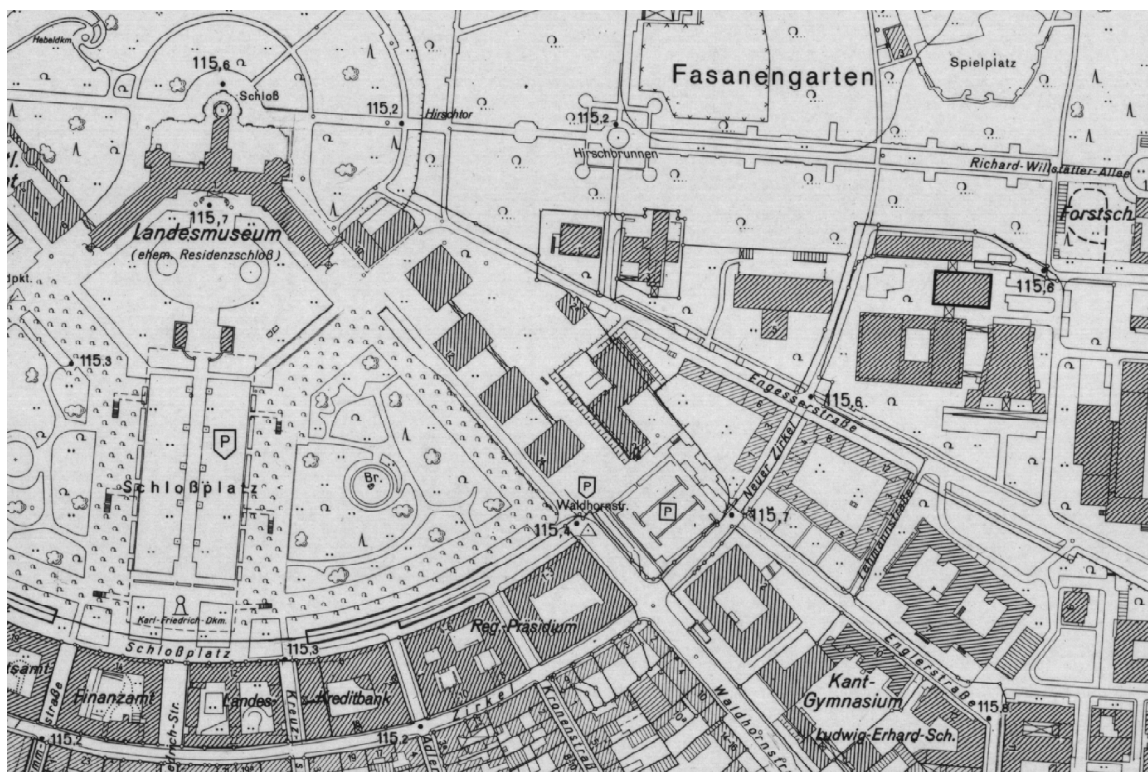


Abb. 3-4: Deutsche Grundkarte 1 : 5000 (DGK5), Ausschnitt aus Blatt Nr. 6916.27 (Karlsruhe) Ausgabe 1990. Maßstabstreue Darstellung (vergl. Abb. 3-2).

(Mit Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg, Außenstelle Karlsruhe, vom 26.03.1992. AZ.: 5.11-KA/90)

3.2 Abtastung

3.2.1 Abtastung der Luftbilder

Die vorliegenden Farbluftbildtransparente (Ka1-Ka7) wurden mittels des farbtrennenden Abtasters (OPTRONICS C4300) beim FIM in digitale Bildmatrizen umgesetzt. Bei der Transmissionsabtastung der Farbtransparente wurden jeweils 3 Farbauszüge (RGB: rot, grün, blau) und ein zusätzlicher Grauauszug (S/W) aufgenommen. Aus den Bildern Ka6 und Ka7 wurden die Ausschnitte Ka6A und Ka7A ausgewählt, die den gleichen Bereich der Erdoberfläche abbilden und das auf dem Kartenblatt 6916.27 liegende Testgebiet vollständig beinhalten. Der 60 mm * 60 mm große Ausschnitt wurde in den Rasterungen 200 μm , 100 μm , 50 μm , 25 μm und 12.5 μm abgetastet. Eine Gegenüberstellung verschiedener Rasterungen eines Bildausschnitts von Ka7A zeigt Abb. 3-6. Der gesamte Bereich (230 mm * 230 mm) der Transparente Ka6 und Ka7 wurde mit einer Rasterung von 25 μm und einer Größe von 9200 * 9200 Pixel aufgenommen. Die Bilder Ka1-Ka5 wurden mit einer Rasterung von 50 μm (4600 * 4600 Pixel) abgetastet.

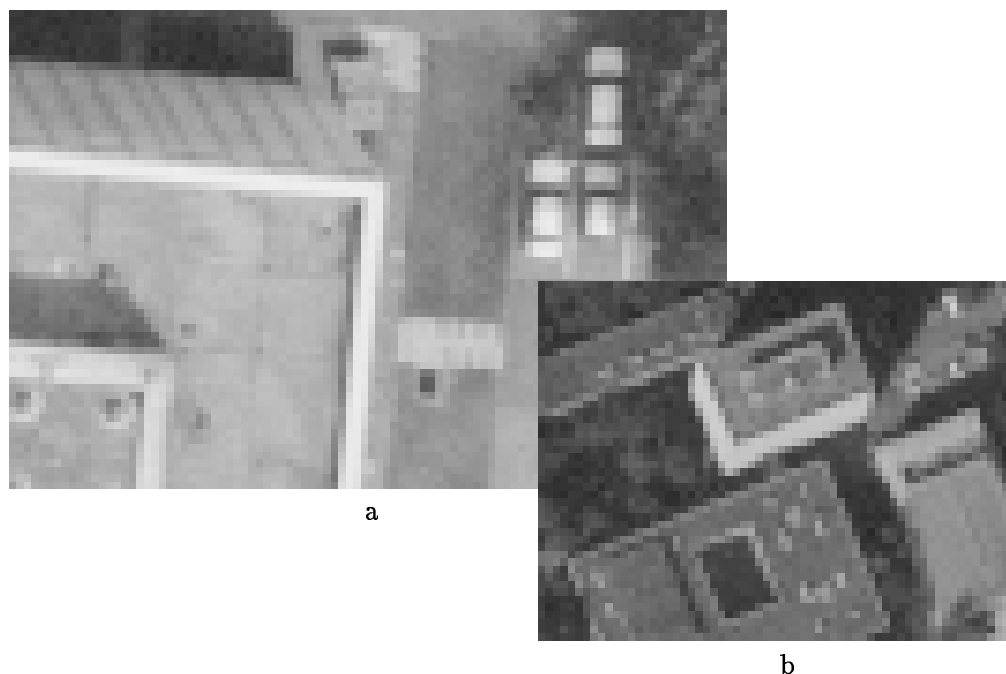


Abb. 3-5: Beispiele zur S/W - Abtastung in einer Rasterung von 50 μm .
a) Ausschnitt von Vorlage Ka5 (Abb. 3-2) b) Ausschnitt von Vorlage Ka6 (Abb. 3-3)

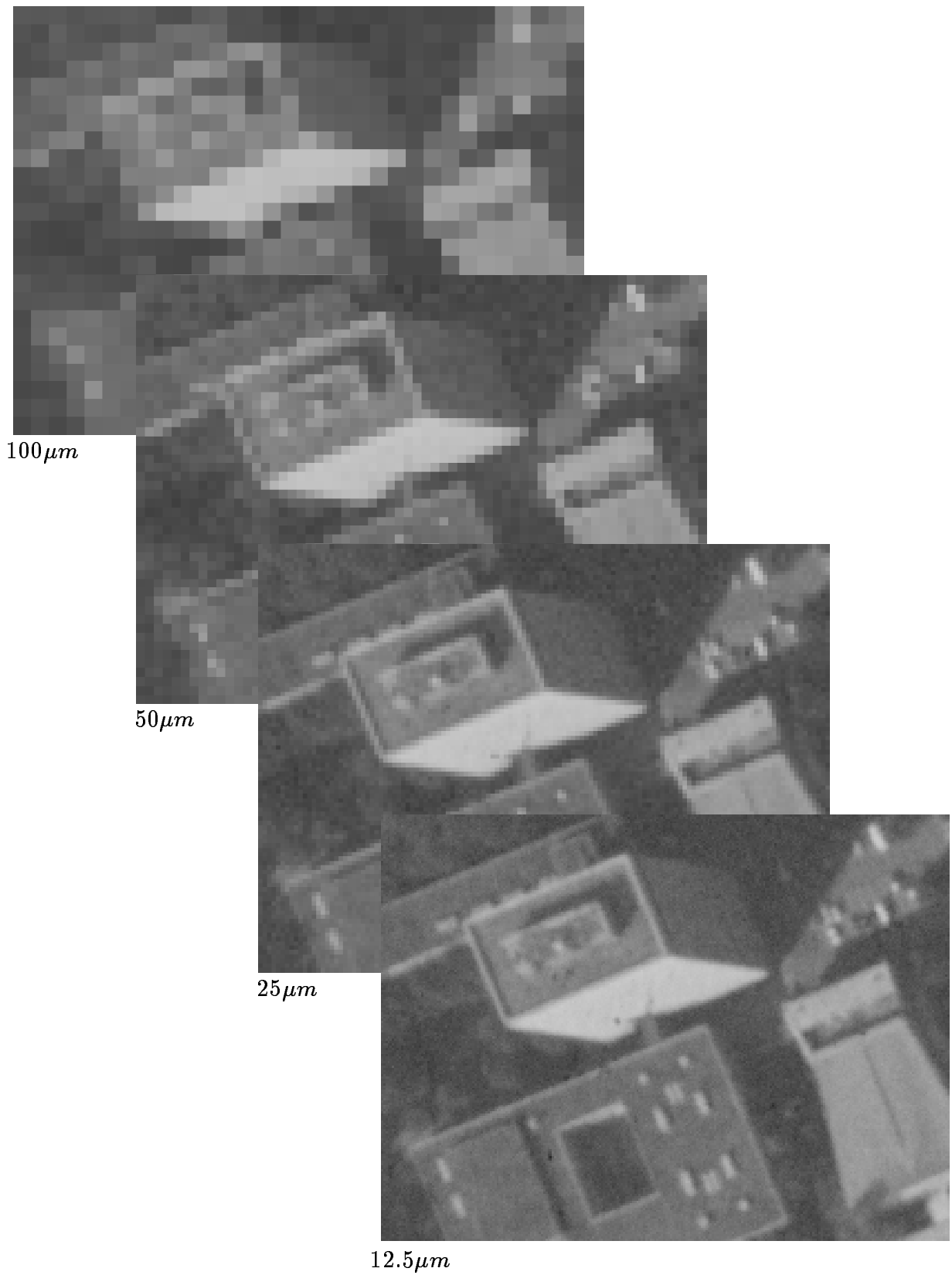


Abb. 3-6: Beispiel zur S/W - Abtastung des Bildes Ka7A in unterschiedlicher Rasterung (100 μm , 50 μm , 25 μm und 12.5 μm)

3.2.2 Abtastung der DGK5

Um eine einfache Überprüfung der digitalisierten Karteninformation zu ermöglichen und eine Orientierungshilfe bei der Modellerstellung und dem Analyseablauf zu bieten, ist es nützlich, ein digitales Bild der Karte zu speichern. Durch eine Remissionsabtastung mit dem Farbkopierer Canon CLC-500 wurde beim FIM ein Ausschnitt des Kartenblattes 6916.27 der DGK5 mit einer Rasterung von $127 \mu\text{m}$ aufgenommen. Abb. 3-7 zeigt den abgetasteten Kartenausschnitt.

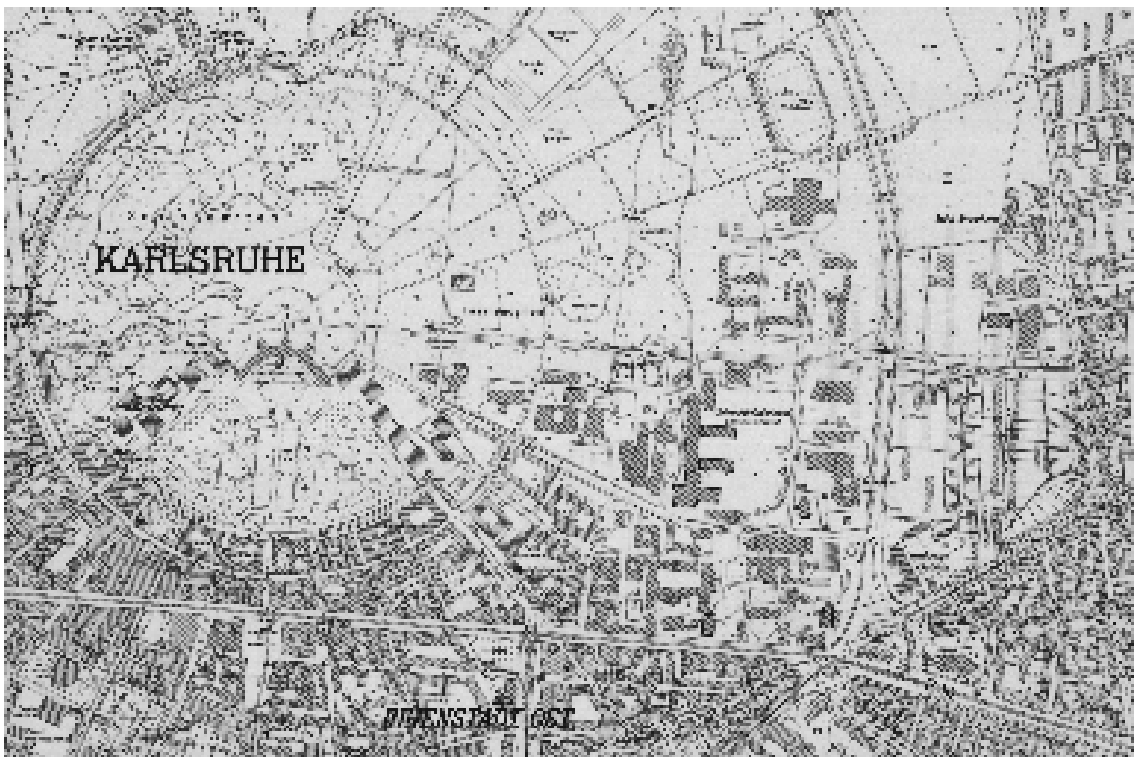


Abb. 3-7: Abgetasteter Kartenausschnitt (3072 * 2048 Pixel).
Kartengrundlage: Deutsche Grundkarte 1 : 5000, Blatt-Nr. 6916.27
(Mit Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg,
Außenstelle Karlsruhe, vom 25.03.1992. AZ.: 5.12-KA/1)

3.2.3 Digitalisierung der DGK5

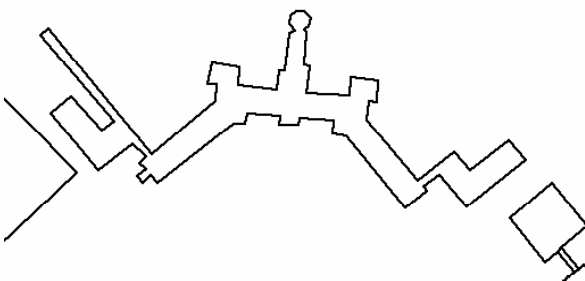
Da die DGK5 in digitaler Form noch nicht vorhanden ist, wurde die Umsetzung des Testgebietes der DGK5 in rechnerverwendbare Form am Digitalisiertisch im IPF durchgeführt. Die manuelle Digitalisierung der Karte erfolgte, indem die Konturlinien von Objekten interaktiv aufgenommen und in der Datenbank von *ARC/INFO* gespeichert wurden. Alle Konturlinien liegen als geschlossene Polygonzüge in Form einer Koordinatenliste vor und tragen eine Objektklassenkennzeichnung. Es werden folgende 11 Objektklassen unterschieden:

1. Einzelhäuser,
2. Große Gebäude,
3. Hochhäuser,
4. Hofflächen,
5. Hauptstraßen,
6. Straßen,
7. Wege,
8. Parkplätze,
9. Spielplätze,
10. Kleingärten,
11. Wald.

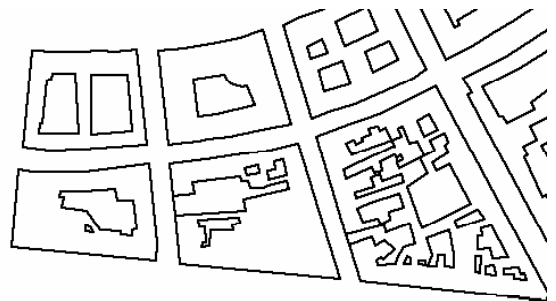
Die elementare Speichereinheit in *ARC/INFO* ist die sogenannte *coverage* (Objektebene). Eine Objektebene enthält nicht nur die Lokalisierungsdaten der Kartenmerkmale in einem bestimmten Gebiet, sondern auch Attribute und Beschreibungen. Sie ist eine digitale Version einer einzelnen Kartenblattschicht und beschreibt im allgemeinen nur einen Typ der Kartenmerkmale (Objektklasse), wie z.B. Straßen, Gebäude oder Waldbestand. In Abb. 3-8 sind Beispiele der digitalisierten Konturen der Objektklassen *Große Gebäude*, *Hauptstraßen* und *Straßen* dargestellt. Diese Karteninformation wird zum Datentransfer vom IPF zum FIM im DLG-Format bereitgestellt (siehe Abb. 4-1).



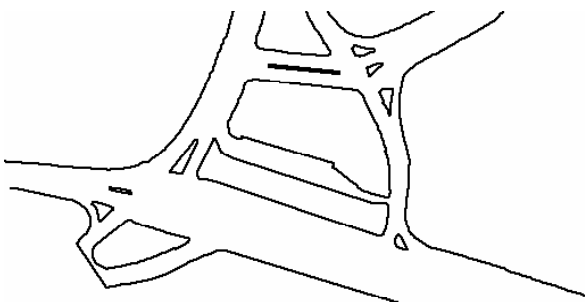
a



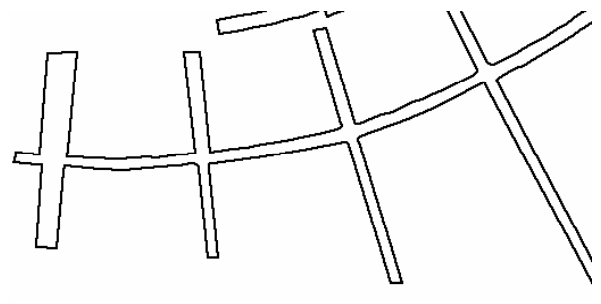
b



c



d



e

Abb. 3-8: Beispiele zu den digitalisierte Konturen verschiedener Objektklassen.
 a) Übersicht Objektklasse *Große Gebäude*, b) und c) Ausschnitt Objektklasse *Große Gebäude*,
 d) Ausschnitt Objektklasse *Hauptstraßen*, e) Ausschnitt Objektklasse *Straßen*
 Kartengrundlage: Deutsche Grundkarte 1 : 5000, Blatt-Nrn. 6916.27 und 6916.28.
 (Mit Erlaubnis des Landesvermessungsamtes Baden-Württemberg, Außenstelle Karlsruhe, vom 25.03.1992. AZ.: 5.12-KA/1)

3.3 Registrierung

Zur Nutzung der DGK5 in digitaler Form muß eine geometrische Zuordnung zwischen den Eingabe-Bilddaten und den Kartendaten getroffen werden. Der Zuordnungsprozeß erfolgt durch die Bestimmung der geometrischen Transformation, die Auswahl der Paßpunkte, und die Parameterschätzung. In der Regel verwendet man die ebene Affintransformation

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 \\ b_1 & b_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_0 \\ b_0 \end{pmatrix}$$

um die geometrische Beziehung der beiden Datensätze annähernd zu beschreiben. Um die 6 unbekannt Parameter in der Affintransformation zu bestimmen, braucht man mindestens 3 Paßpunkte, die jeweils interaktiv in der Karte und dem Bild lokalisiert werden. Zur Sicherheit wählt man mehr als die Mindestzahl an Paßpunkten, die außerdem möglichst über das ganze Bild verteilt sein sollen. Wenn die notwendigen Paßpunkte definiert sind, kann man die 6 unbekannt Parameter mit Hilfe der Kleinsten-Quadraten-Methode schätzen und damit die geometrische Zuordnung der beiden Datensätze erreichen.

Eine vorläufige Prüfung der Abbildungsparameter der Luftbilder Ka1 bis Ka5 ergab, daß diese Bilder praktisch Senkrechtabbildungen sind. In diesem Fall reicht die Verwendung einer Transformation mit minimal 2 Paßpunkten für unsere Zwecke aus.

Zunächst wurde eine Transformation von den Internal-File-Koordinaten (F-Koordinaten) der DLG-Files in das Koordinatensystem des Digitalisierers (T-Koordinaten) durchgeführt:

$$TX = A_1 \cdot FX + A_2 \cdot FY + A_3 \quad (3-1)$$

$$TY = A_1 \cdot FY - A_2 \cdot FX + A_4 \quad (3-2)$$

Die Koeffizienten A_1 , A_2 , A_3 und A_4 sind im Header der DLG-Files vermerkt. Um unabhängig von der Lage des Kartenblattes in Bezug zum Digitalisiertisch zu sein, wurde zur Abstimmung eine weitere Transformation in ein dem Kartenblatt zugeordnetes Koordinatensystem (G-Koordinaten) durchgeführt. Der Ursprung dieses Koordinatensystems (G-Koordinaten) liegt auf dem Koordinatenpunkt Rechts 34.56 und Hoch 54.30 der DGK5 (linker unterer Eckpunkt des Kartenblattes 6916.27). Die Koordinatenachsen sind parallel zu den Gauss-Krüger-Koordinatenlinien orientiert und im Maßstab der DGK5 in mm skaliert.

$$GX = B_1 \cdot TX - B_2 \cdot TY + B_3 \quad (3-3)$$

$$GY = B_1 \cdot TX + B_2 \cdot TY + B_4 \quad (3-4)$$

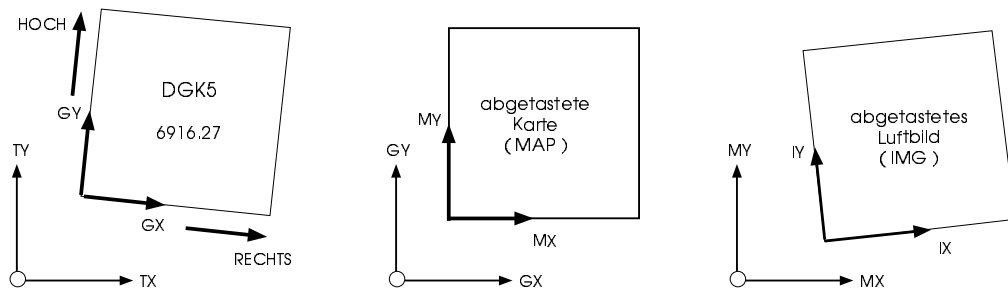


Abb. 3-9: Skizze zur Koordinatentransformation

Die vor dem Digitalisieren aufgenommenen Koordinatenwerte der Eckpunkte des Kartenblattes ermöglichen die Bestimmung der Koeffizienten B_1, B_2, B_3, B_4 . Die in das G-Koordinatensystem transformierten DLG-Daten bilden die Grundlage für die Generierung der Objektprimitive für die Kartenanalyse. In Abhängigkeit von dem zu analysierenden Bild- bzw. Kartenausschnitt werden die entsprechenden Linienelemente aus den transformierten Dateidaten eingelesen und in die BPI-Datenbasis als Objektprimitive eingetragen.

Um eine Koordinatentransformation von den G-Koordinaten in die Bildkoordinaten der abgetasteten Karte (M-Koordinaten) zu ermöglichen, werden 2 Paßpunkte auf dem Bild der Karte und entsprechend auf dem Kartenblatt festgelegt. Aus den in Pixel und in Millimeter gemessenen Koordinatenwerten werden die Koeffizienten C_1, C_2, C_3 und C_4 bestimmt und mit folgenden Gleichungen transformiert:

$$MX = C_1 \cdot GX - C_2 \cdot GY + C_3 \quad (3-5)$$

$$MY = C_1 \cdot GX + C_2 \cdot GY + C_4 \quad (3-6)$$

Durch zwei weitere Paßpunkte, die im Bild der Karte und im abgetasteten Luftbild interaktiv bestimmt werden, können die Koeffizienten D_1, D_2, D_3 und D_4 berechnet werden. Mit den Transformationsgleichungen

$$IX = D_1 \cdot MX - D_2 \cdot MY + D_3 \quad (3-7)$$

$$IY = D_1 \cdot MX + D_2 \cdot MY + D_4 \quad (3-8)$$

wird dann der Zusammenhang zwischen den Kartenkoordinaten und den Koordinaten des abgetasteten Luftbildes hergestellt.

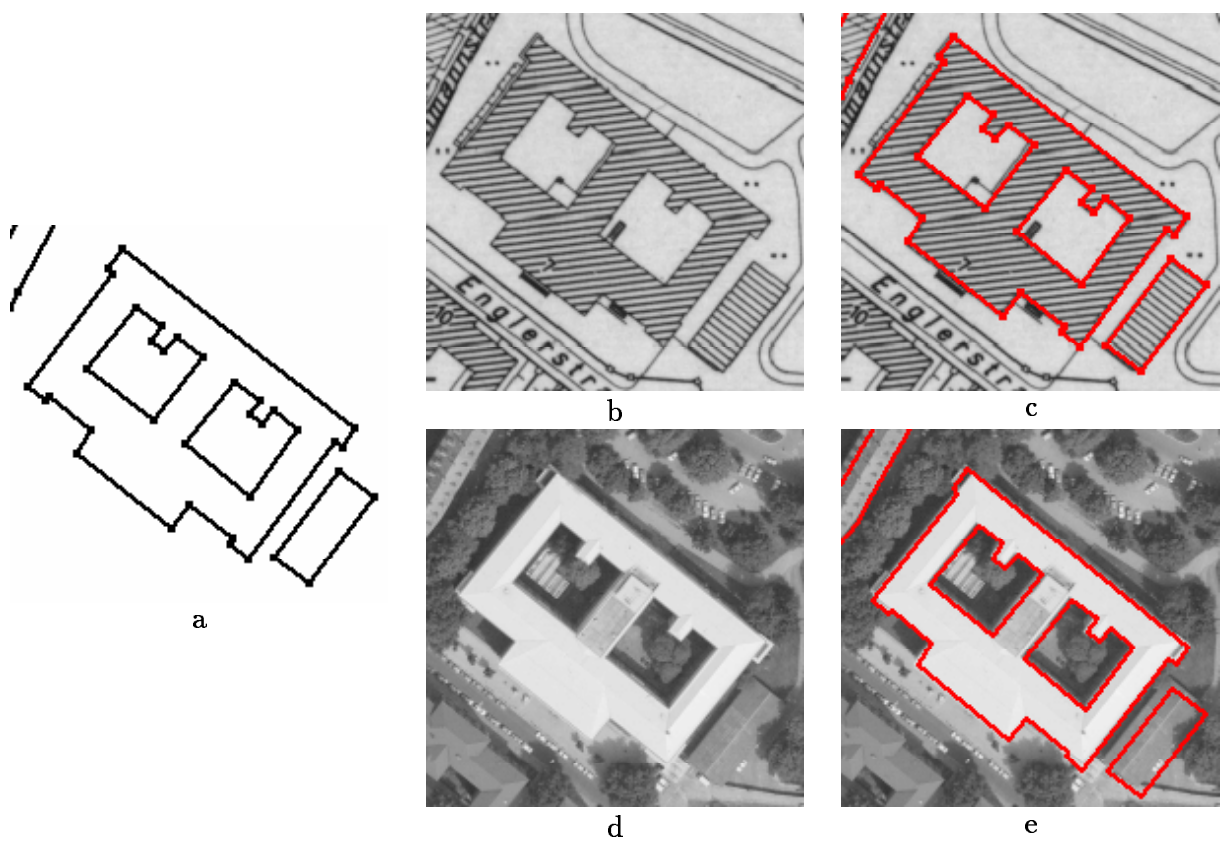


Abb. 3-10: Beispiel zur Registrierung a) digitale Karteninformation
 b) abgetastete Karte (MAP) c) Ergebnis der Registrierung
 d) abgetastetes Luftbild (IMG) e) Ergebnis der Registrierung

4. Die gemeinsame Datenbasis von IPF und FIM

Geographische Informationssysteme (GIS) eignen sich in besonderer Weise zur Erhebung und Verwaltung flächenbezogener geographischer Daten [1,16], wie z.B. Kartendaten. Ein GIS ist ein mächtiger Satz von Werkzeugen zur Sammlung, Speicherung, Wiederauffindung, Transformierung und Darstellung räumlicher Daten der realen Welt [3,16]. Für das gemeinsame DFG-Vorhaben von IPF und FIM wurde das Produkt *ARC/INFO* als GIS ausgewählt. *ARC/INFO* zeichnet sich durch eine weite Verbreitung und ein breites Angebot von Programmen zur Datenkonvertierung aus. Die gemeinsame Datenbasis von FIM und IPF ist in der Datenbank *INFO* beim IPF gespeichert (Abb. 4-1).

Schnittstelle ARC/INFO - BPI

Zur Verarbeitung der Kartendaten im BPI-System wie auch zur Speicherung der im BPI-System erzielten Analyseergebnisse in der externen Datenbank (*INFO*) ist ein Datentransfer über eine Schnittstelle notwendig.

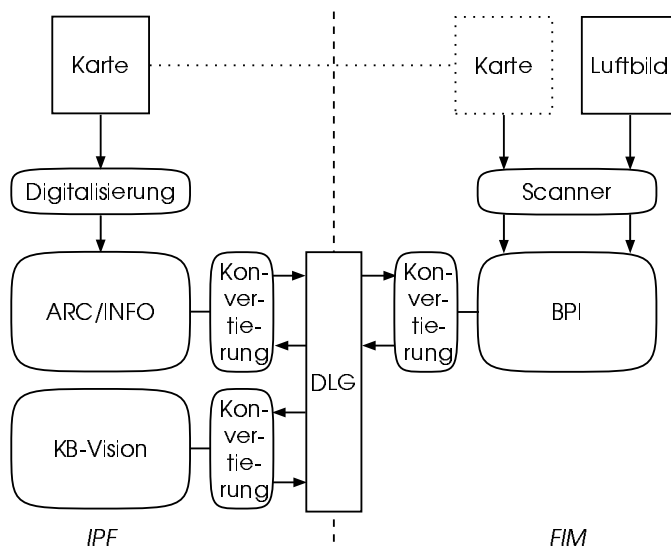


Abb. 4-1: Schnittstelle zwischen IPF und FIM

Zum Austausch von Verarbeitungsergebnissen zwischen IPF und FIM wird das **Optional DLG Distribution Format** (DLG = Digital Line Graph) benutzt. Das DLG-Format wurde neben dem *DLG-3 Standard Format* vom National Cartographic Information Center (U.S. Geological Survey) als standardisiertes Format veröffentlicht. Es

wird auch häufig für den Datenaustausch zwischen *ARC/INFO* und anderen kartographischen Systemen verwendet. Zur Beschreibung stehen die Elemente Linie (line), Knoten (node) und Fläche (area) zur Verfügung. Eine Linie besteht aus einer geordneten Menge von Punkten. Knoten definieren den Anfangs- und Endpunkt einer Linie. Flächen sind Teile einer Karte, die durch Linien begrenzt sind. Das ***Optional DLG Distribution Format*** bietet die Möglichkeit, zu den einzelnen Elementen weitere Informationen (Attribute) durch Attribut-Codes hinzuzufügen. Zur Konvertierung wurden vier Schnittstellenmodule erstellt (Anhang B).

Schnittstelle *ARC/INFO* - *KBVision*

Da das Bildanalyse-System *KBVision* als eine Basisumgebung für die Projektbearbeitung im IPF verwendet wird, wurde auch eine Umsetzung des DLG-Formates in das *KBVision*-Format durchgeführt. *KBVision* wurde als Entwicklungs-, Test- und Analyse-System für die Bildverarbeitung und Bildinterpretation entwickelt und bietet mit einer Menge von Verfahren für die Bildanalyse eine leicht erweiterbare Plattform für die Applikationsentwicklung. Zur Darstellung von Ergebnissen der Bildvorverarbeitung wird das in *KBVision* integrierte Datenbanksystem *ISR* (Intermediate Symbolic Representation) verwendet.

Die Datenstruktur, mit der ein bestimmtes Bildergebnis erfaßt wird, bezeichnet man als Marke (token). Eine Marke besteht aus einem Index und den Attributen, die die Marke beschreiben. Eine Marke Linie besitzt z.B. die Attribute Orientierung, Länge und Kontrast der Linie. Eine Menge von Marken, die aus denselben Daten mit denselben Algorithmen hergestellt sind, bildet eine Markenmenge (tokenset). Für jede Objektklasse wurden drei Markenmengen definiert, nämlich Linienstücke, Polylinien, und Polygone. Bei der Konvertierung einer DLG-Datei in das *KBVision*-Format werden somit drei Markenmengen erzeugt.

5. Visuelle Interpretation des Versiegelungsgrads

Diese Aufgabe konnte noch nicht bearbeitet werden. Einerseits hat die Digitalisierung der beiden DGK5-Karten, die das Testgebiet im Bereich Karlsruhe Ost enthalten, wesentlich mehr Zeit beansprucht als zuvor eingeplant. Andererseits ist das Ergebnis der visuellen Interpretation der vorliegenden Luftbilder zur Kartierung des dort sichtbaren Versiegelungsgrads der Testgebiete nicht dringend erforderlich: Ein solches Ergebnis wird dann gebraucht, wenn die Leistungsfähigkeit automatischer Verfahren geprüft werden muß. Diese Aufgabe fällt erst zu einem späteren Zeitpunkt an.

6. Objektextraktion aus Bilddaten

Der Aufbau von komplexen Objekten wird ausgehend von Objektprimitiven, die in einer Vorverarbeitung extrahiert werden, schrittweise vorgenommen. Daher sollte gewährleistet sein, daß durch die gewählte Vorverarbeitung alle für den Objektaufbau notwendigen Bildmerkmale durch Objektprimitive beschrieben sind. Als Objektprimitive bieten sich elementare Merkmale, wie z.B. Punkte, gerade Linien, Bogen und Flächen an. Im Rahmen der Arbeiten wurden zwei Verfahren zur Linienextraktion untersucht.

Das **erste** Verfahren zur Linienextraktion und Verlängerung wurde auf der Basis eines Neuronalen Netzes entwickelt, das zunächst Gruppierungen von Bildpunkten durchführt. Der Lern-Prozeß des Netzes erfolgt unüberwacht, d.h. um dem Netz die Fähigkeit zur Bildpunkt-Gruppierung beizubringen, braucht man keine klassifizierten Trainingsbeispiele. Anschließend werden den Bildpunktgruppierungen modellgestützt Liniensegmente zugeordnet (Abb. 6-1b). Schließlich wird regelbasiert eine Linienreduktion durchgeführt (Abb. 6-1c). Dazu werden Informationen über die geometrischen und radiometrischen Eigenschaften der extrahierten Linien verwendet. Die gefilterten Linien sind in Abb. 6-1d zusammen mit den Konturen der digitalen Karte (Objektklasse *Große Gebäude*) eingetragen. Eine ausführliche Darstellung des Verfahrens ist in [19] enthalten.

Bei dem **zweiten** Verfahren werden Objektprimitive extrahiert, indem das Grauwertbild zunächst mit unterschiedlichen Schwellwerten in mehrere Binärbilder überführt wird. Es werden dann die Konturlinien (Höhenlinien) der bei der Binärisierung entstehenden Flächen bestimmt. Anschließend werden die Konturen analysiert, indem Kontursegmente, die jeweils L Konturpunkte überdecken, durch ein Objektprimativ (Geradenstück) approximiert werden. Bei der Untersuchung aufeinanderfolgender Konturabschnitte wählt man eine bestimmte Überlappung.

Die Anzahl der Schnitte, die Länge L und die Überlappung sind Verfahrensparameter. Die so gewonnenen Objektprimitive werden nach ihrer Approximationsgüte bewertet und für die anschließende symbolische Bildanalyse abgelegt. In Abb. 6-2 sind die Objektprimitive dargestellt. Eine erweiterte Darstellung des Verfahrens ist in [17] zu finden.

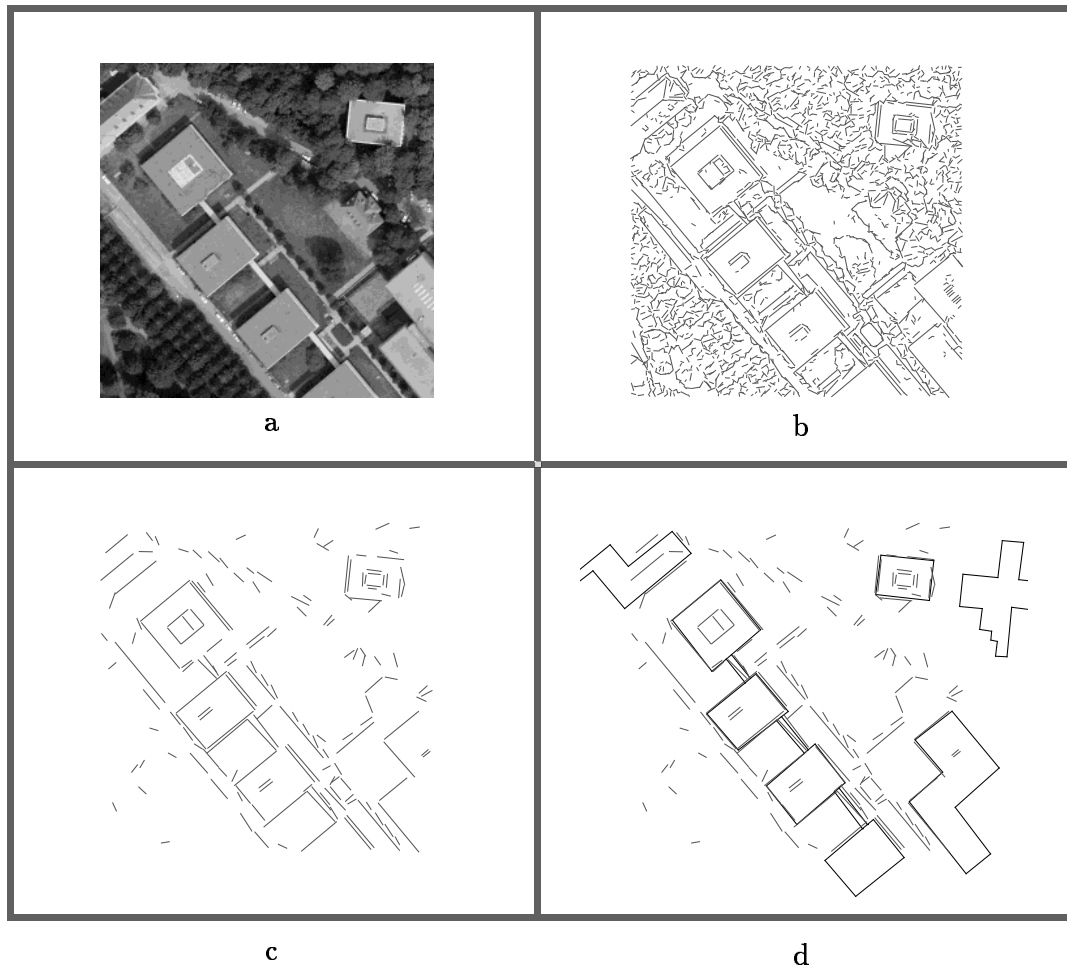


Abb. 6-1: Ergebnis der Objektextraktion (Neuronales Netz). a) abgetasteter Bildausschnitt (256 * 256 Pixel) b) extrahierte gerade Linien c) Linien nach der Reduktion d) Ergebnis von c) mit den überlagerten Konturen der digitalen Karte

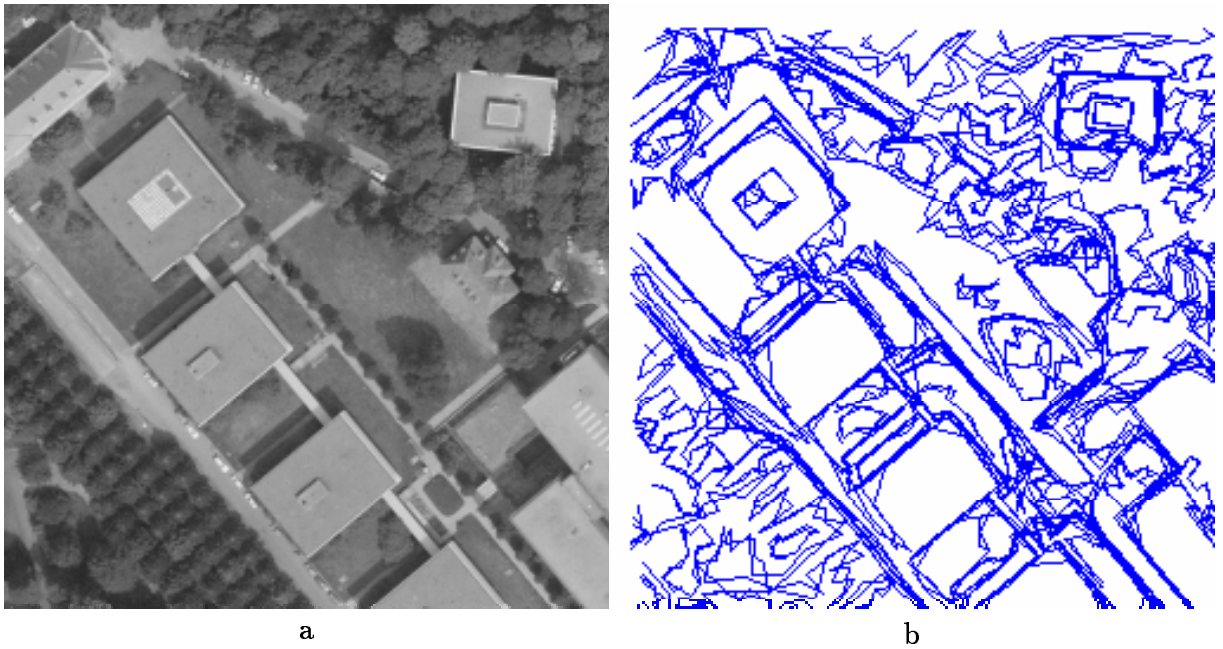


Abb. 6-2: Ergebnis der Objektextraktion (Mehrschwellenverfahren)
a) abgetasteter Bildausschnitt (256 * 256 Pixel) b) extrahierte gerade Linien

7. Modellierung

In der vorliegenden Arbeit wird ein blackboard-basierter Ansatz beschrieben, der als syntaktisches Verfahren dargestellt wird. Die gesuchten Objekte werden schrittweise aufgebaut. Die Generierung der Objektprimitive geschieht in einem Vorverarbeitungsschritt. Anschließend werden sie zu immer komplexeren Teilobjekten wie z.B. Streifen und Kreuzungen einschließlich der Zielobjekte zusammengesetzt. Der Aufbau der Objekte vollzieht sich mit Hilfe geeigneter Produktionen (Wissensquellen), die als Überprüfungsprogramme realisiert sind. Alle generierten Objekte werden in dem Blackboard, einer zentralen Datenbasis, abgelegt.

Produktionen

Man kann das hier eingesetzte blackboard-basierte Verfahren als Parser interpretieren, der Objekte analysiert, indem mittels geeigneter Produktionen (Modellwissen) einer attributierten Grammatik im allgemeinen Teilgraphen zu Ableitungsgraphen zusammengefaßt werden.

Der Gesamttablauf im Blackboardsystem kann dann als ein Ersetzungssystem E , das ein 4-Tupel ist, beschrieben werden:

$$E = (V_t, V_n, S, P) \quad (7 - 1)$$

Dabei bezeichnet :

- V_t = Menge von Objektprimitiven (Terminalen)
- V_n = Menge von Teilobjekten (Nichtterminalen)
- S = Menge von Zielobjekten
- P = Menge von Produktionen

Die Produktionen geben an, wie eine gegebene Menge von Objektprimitiven oder Teilobjekten in ein anderes Teilobjekt oder Zielobjekt überführt wird. Für die Generierung jedes Objektes existieren eine oder mehrere Produktionen.

Formal wird angegeben, daß sich aus attributierten Objekten a und b mit einem bestimmten Prädikat ein Objekt c "produzieren" läßt. Das Prädikat berücksichtigt den **Typ** von a, b , der als spezielles Attribut vorausgesetzt wird, und eine geometrische Relation \odot zwischen a und b , die andere geeignete Attribute berücksichtigt.

Für die verwendeten Produktionen in der Menge $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ gilt folgende Schreibweise (siehe auch Tab. 7-1):

$$P_x : A \wedge B \odot \xrightarrow{x} C$$

Dabei gilt, daß P_x ausgeführt werden soll, wenn

$$(\text{Typ}(a) = A \wedge \text{Typ}(b) = B) \wedge \odot(a, b)$$

wahr ist. In diesem Fall wird dann das neue Objekt c mit seinen Attributwerten mit der Funktion $\xrightarrow{x}(a, b)$ generiert. Liegt beispielsweise eine Produktion P_1 vor, die wie folgt beschrieben ist,

$$P_1 : \text{Linie} \wedge \text{Linie} - - \xrightarrow{1} \text{Linie}$$

so bedeutet dies: Liegen zwei Objekte vom Typ **Linie** vor und liegen diese Objekte in der Verlängerung zueinander, angedeutet durch das Zeichen "—" für kollinear, so wird daraus ein neues Objekt vom Typ **Linie** mit der speziellen Funktion $\xrightarrow{1}$ erzeugt. Durch wiederholtes Anwenden von Produktionen lassen sich komplexe Objekte aufbauen.

Die verwendeten Produktionen werden durch Überprüfungsmodule realisiert, die die geometrische Relation \odot überprüfen und bei Erfüllen der Relation die objektspezifische Funktion \xrightarrow{x} durchführen. Erläuterungen zur allgemeinen Struktur der Überprüfungsmodule sowie zur Überprüfung spezieller geometrischer Relationen findet man in [17].

Modellierung des Objektes Strassennetz

Zur Analyse der Karte sind Objekttypen und Produktionen zu definieren. Von der digitalen Karte, die sich aus mehreren Objektebenen aufbaut, wird zunächst die Objektebene *Straßen* untersucht. Abb. 7-2 zeigt einen Kartenausschnitt und die überlagerte Karteninformation der Objektebene *Straßen*. Alle Elemente dieser Ebene (Objektklasse *Straßen*) stellen bildlich ein Straßennetz dar. Dieser Bildinhalt soll durch das Zielobjekt, ein Objekt vom Typ **Strassennetz** erfaßt werden. Zur Beschreibung des Bildinhaltes durch Teilobjekte sind zusätzlich die Objekttypen **Kreuzung**, **Strasse** und **S_Linie** definiert. Die Objekte der untersten Stufe bilden die Objektprimitive, die als Objekte vom Typ **Linie** aus den Elementen der digitalen Karten (Objektklasse *Straßen*) gebildet werden. Die Objekte vom Typ **Linie** tragen als Attribute die Koordinaten der Endpunkte, die Orientierung, die Länge und die Objektklasse. In Abb. 7-3a sind die Objektprimitive durch Linien dargestellt, wobei die Endpunkte durch kleine quadratische Flächen gekennzeichnet sind.

Aus den Objektprimitiven erfolgt über die Teilobjekte die Synthese des Zielobjektes. Zur Synthese werden die in der Tab. 7-1 aufgeführten acht Produktionen verwendet.

P-Nr.	Objektverbindung		\odot	\xrightarrow{x}	aufzubauendes Obj.
P_1	Linie	\wedge Linie	--	$\xrightarrow{1}$	Linie
P_2	Linie	\wedge Linie	- /-	$\xrightarrow{2}$	S_Linie
P_3	S_Linie	\wedge S_Linie		$\xrightarrow{3}$	Strasse
P_4	Strasse	\wedge Strasse	--	$\xrightarrow{4}$	Strasse
P_5	Strasse	\wedge Strasse	\sphericalangle	$\xrightarrow{5}$	Kreuzung
P_6	Kreuzung	\wedge Strasse	-+	$\xrightarrow{6}$	Kreuzung
P_7	Kreuzung	\wedge Kreuzung	\in	$\xrightarrow{7}$	Strassennetz
P_8	Strassennetz	\wedge Strassennetz	\in	$\xrightarrow{8}$	Strassennetz
-- kollinear, fortsetzbar - /- kollinear, nicht fortsetzbar parallel zueinander \sphericalangle in einem best. Winkel zueinander -+ mündet in \in konsistent, enthalten dieselben Objekte					

Tabelle 7-1: Übersicht zu den verwendeten Produktionen (siehe auch Abb. 7-1)

Die Zusammenhänge zwischen den Objekten und den Produktionen sind in Abb. 7-1 in graphischer Form als Produktionsnetz dargestellt.

Zur anschaulichen Erläuterung der Produktionen werden die Abb. 7-3b - Abb. 7-3d herangezogen, in denen bereits Ergebnisse der Kartenanalyse (Kap. 8) darstellt sind.

Im folgenden wird zur Bezeichnung der Objekte eines bestimmten Typs (z.B. Objekt vom Typ *Linie*) eine entsprechende Kurzbezeichnung (Objekt *Linie*) verwendet.

Gerade Objektkanten können im allgemeinen länger sein als das Objektprimitiv, so daß solch eine Kante durch eine Menge von Objektprimitiven *Linie* wiedergegeben wird. Um eine lange gerade Kante einer Straße durch ein Objekt *S_Linie* zu beschreiben, wird das Objekt aus den Objektprimitiven zusammengesetzt. Eine Verlängerung eines Objektes *Linie* erfolgt durch die Produktion P_1 (siehe Tab. 7-1). Die Objekte *Linie* werden dann zu einem neuen Objekt *Linie* zusammengesetzt, wenn sie mit einer bestimmten Toleranz in der Verlängerung zueinander angeordnet sind und sich noch weiter fortsetzen lassen. Läßt sich ein Objekt *Linie* nicht mehr weiter verlängern und besitzt das Objekt eine Mindestlänge L, so wird durch die Produktion P_2 ein Objekt *S_Linie* generiert. Das Objekt *S_Linie* besitzt die gleichen Attribute wie das Objekt *Linie*. Das wiederholtes Anwenden der beiden Produktionen auf alle Objekte *Linie*

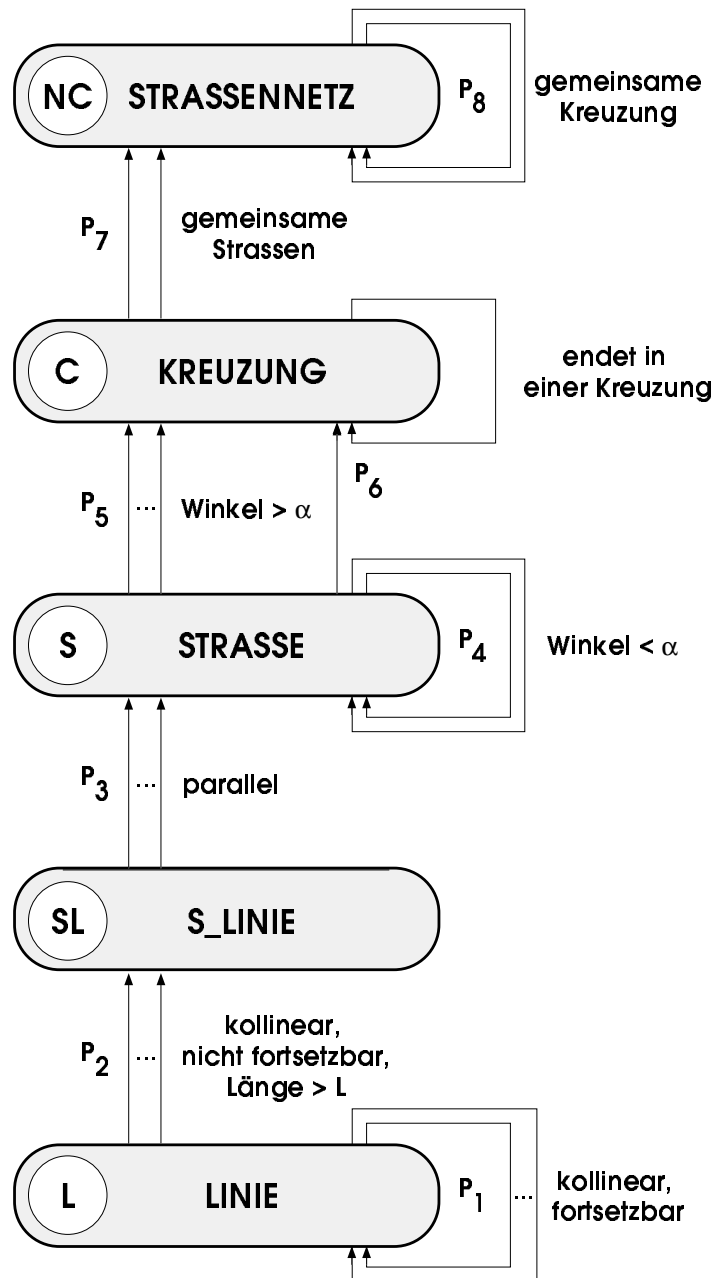


Abb. 7-1: Produktionsnetz der in Tab. 7-1 dargestellten Produktionen

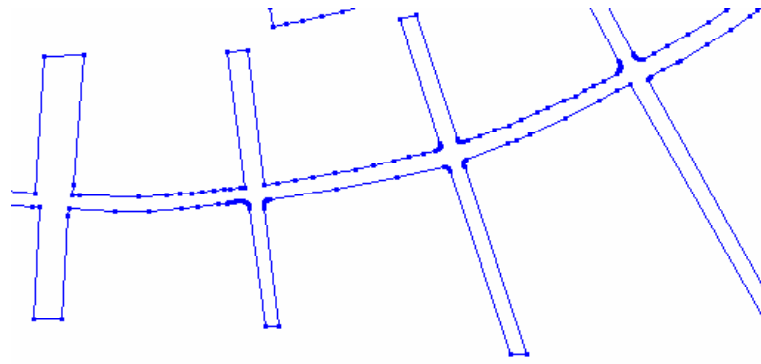


Abb. 7-2: Kartenausschnitt und überlagerte digitale Karteninformation

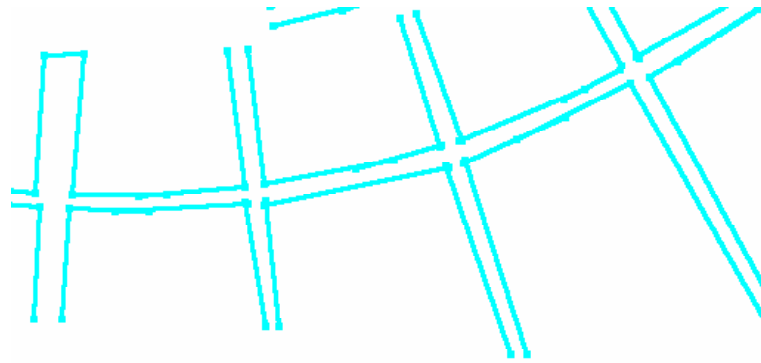
generiert eine Menge von Objekten *S_Linie*. Die ausgehend von der Menge der Objektprimitive (Abb. 7-3a) generierte Menge der Objekte *S_Linie* ist in Abb. 7-3b dargestellt.

Liegen Objekte *S_Linie* in einem vorgegebenen Abstandsintervall parallel zueinander, so wird mit der Produktion P_3 das Objekt *Strasse* generiert. Mit der Produktion P_4 werden die Objekte *Strasse* bei anschließender Fortsetzbarkeit oder teilweiser Überdeckung verlängert und ein neues Objekt *Strasse* generiert. Der Betrag der Winkeldifferenz zwischen den Orientierungen der aufbauenden Objekte *Strasse* muß unter einem bestimmten Wert liegen. Knickt eine Straße stärker als der vorgegebene Winkel ab, so wird der Knick durch einen Sonderfall des Objektes *Kreuzung* erfaßt. Die *Kreuzung* besteht in diesem Fall nur aus zwei Objekten *Strasse*. Bei einer vollständigen Überdeckung der Objekte *Strasse* werden diese mit der Produktion P_4 zusammengefaßt und ein neues Objekt *Strasse* generiert. Aus der Menge der Objekte *S_Line*, dargestellt in Abb. 7-3b, läßt sich mit den Produktionen P_3 und P_4 eine Menge von Objekten *Strasse* generieren (Abb. 7-3c).

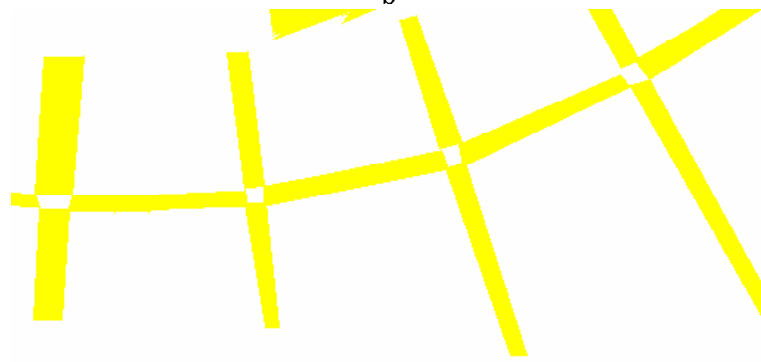
Das Objekt *Kreuzung* wird mit der Produktion P_5 aus den Objekten *Strasse* aufgebaut, wenn die Endpunkte der Strassen benachbart sind und die Orientierungen der Objekte *Strasse* in einem vorgegebenen Winkelintervall zueinander liegen. Liegt ein Objekt *Strasse* mit einem Endpunkt in der Nähe des Objektes *Kreuzung* und ist es noch nicht Bestandteil des Objektes *Kreuzung*, so wird mit der Produktion P_6 aus beiden Objekten ein neues Objekt *Kreuzung* generiert. Die aus der Menge der Ob-



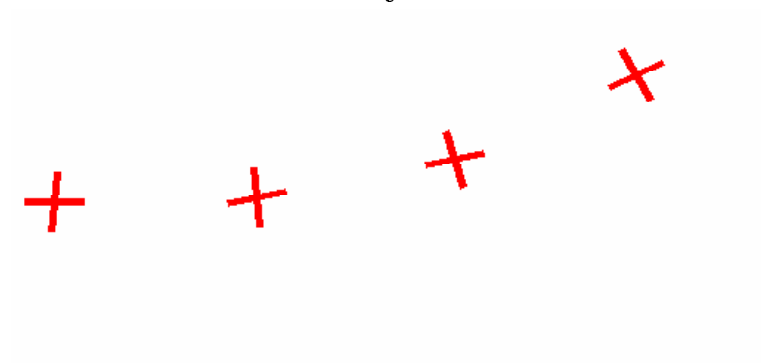
a



b



c



d

Abb. 7-3: Darstellung verschiedener Objekttypen
a) *Linie*, b) *S-Linie*, c) *Strasse*, d) *Kreuzung*

jekte *Strasse* mit P_5 und P_6 generierten Objekte *Kreuzung* sind in Abb. 7-3d dargestellt.

Besitzen zwei nicht in der gleichen Region liegende Objekte *Kreuzung* dasselbe Objekt *Strasse*, so verbindet die Straße die beiden Kreuzungen. Die beiden Objekte *Kreuzung* werden mit der Produktion P_7 zu einem Objekt *Strassennetz* zusammengefaßt.

Besitzen zwei Objekte *Strassennetz* mindestens eine gemeinsame Kreuzung, so werden die beiden Objekte *Strassennetz* mit der Produktion P_8 zu einem neuen Objekt *Strassennetz* zusammengefaßt.

Bei der Erläuterung der Produktionen in der Reihenfolge $P_1 - P_8$ wurde das wiederholte Anwenden von Produktionen durch jeweilige Anwendung auf alle Objekte eines Typs dargestellt (siehe Abb. 7-3). Diese dargestellte Reihenfolge wird beim "datengetriebenen" Inferenzablauf, wie in Kap. 8 noch gezeigt wird, typischerweise nicht eingehalten.

8. Kartenanalyse

Ein komplexes Objekt (z.B. das Objekt *Strassennetz*) wird ausgehend von den Objektprimitiven schrittweise durch die Anwendung von Produktionen (siehe P_1 - P_8 in Tab. 7-1) zusammengesetzt. Die zum Aufbau der konkreten Objekte durchgeführten Zusammensetzungen werden durch Verzeigerungen festgehalten und durch einen sogenannten Ableitungsgraphen dargestellt. Das Anwenden einer Produktion entspricht jeweils der Generierung von einem neuen Knoten und zwei bzw. mehreren Kanten im Graphen.

Für einen Ausschnitt der digitalen Karte wird ein Auswertungslauf mit den Konturlinien der Objektklasse *Straßen* (Abb. 7-2) durchgeführt. Dazu sind vorher die im DLG-Format gespeicherten *lines* der digitalen Karte zu konvertieren (siehe Kap. B), zu transformieren (siehe Kap. 3.3) und für den zu untersuchenden Kartenausschnitt zu selektieren. Die Konturlinien werden dann in Form von Linienstücken als Objektprimitive *Linien* (siehe Abb. 7-3a) in die Datenbasis des BPI-Systems eingelesen.

8.1 Ableitungsgraph

Die Generierung des Ableitungsgraphen wird an einem Beispiel erläutert, das einen Ausschnitt des Analyseablaufs demonstriert. Zunächst wird die vollständige Analyse des Kartenausschnittes durchgeführt. Danach wird das Teilobjekt *Kreuzung* mit dem Objektindex 472 ausgewählt. Der schrittweise Aufbau dieses Objektes wird ausgehend von den Objekten *S_Linie* im folgenden beschrieben. Der Aufbau der Objekte *S_Linie* aus den vielen Objektprimitiven *Linie* wird der Übersicht wegen nicht dargestellt.

Zur Auswahl der Menge der beim Aufbau beteiligten Objekte und Darstellung dieser Objekte wird die Wissens-Erwerbs- und Erklärungs-Komponente (WEEK) verwendet (siehe auch [17]). Von dem ausgesuchten Objekt mit dem Objektindex 472 wird die Menge aller Vorgänger dieses Objektes gebildet und mit der Menge aller Objekte vom Typ *Kreuzung*, *Strasse* und *S_Linie* geschnitten. Der Ableitungsgraph dieser resultierenden Menge wird mit der WEEK automatisch in Form eines Baumes erstellt (Abb. 8-1). Das links in Abb. 8-1 stehende Objekt *Kreuzung* (472) stellt die Wurzel des Baumes dar, und nach rechts werden die jeweiligen Vorgänger aufgetragen. Ist ein Objekt (z.B. Objekt *S_Linie* (438)) in verschiedenen Nachfolgern (Objekte *Strasse* (439,449)) eingezeichnet, so tritt dasselbe Objekt im Baum als Knoten mehrfach auf (Abb. 8-1).

Da bei der Generierung eines Objektes der Objektindex in aufsteigender Weise lau-

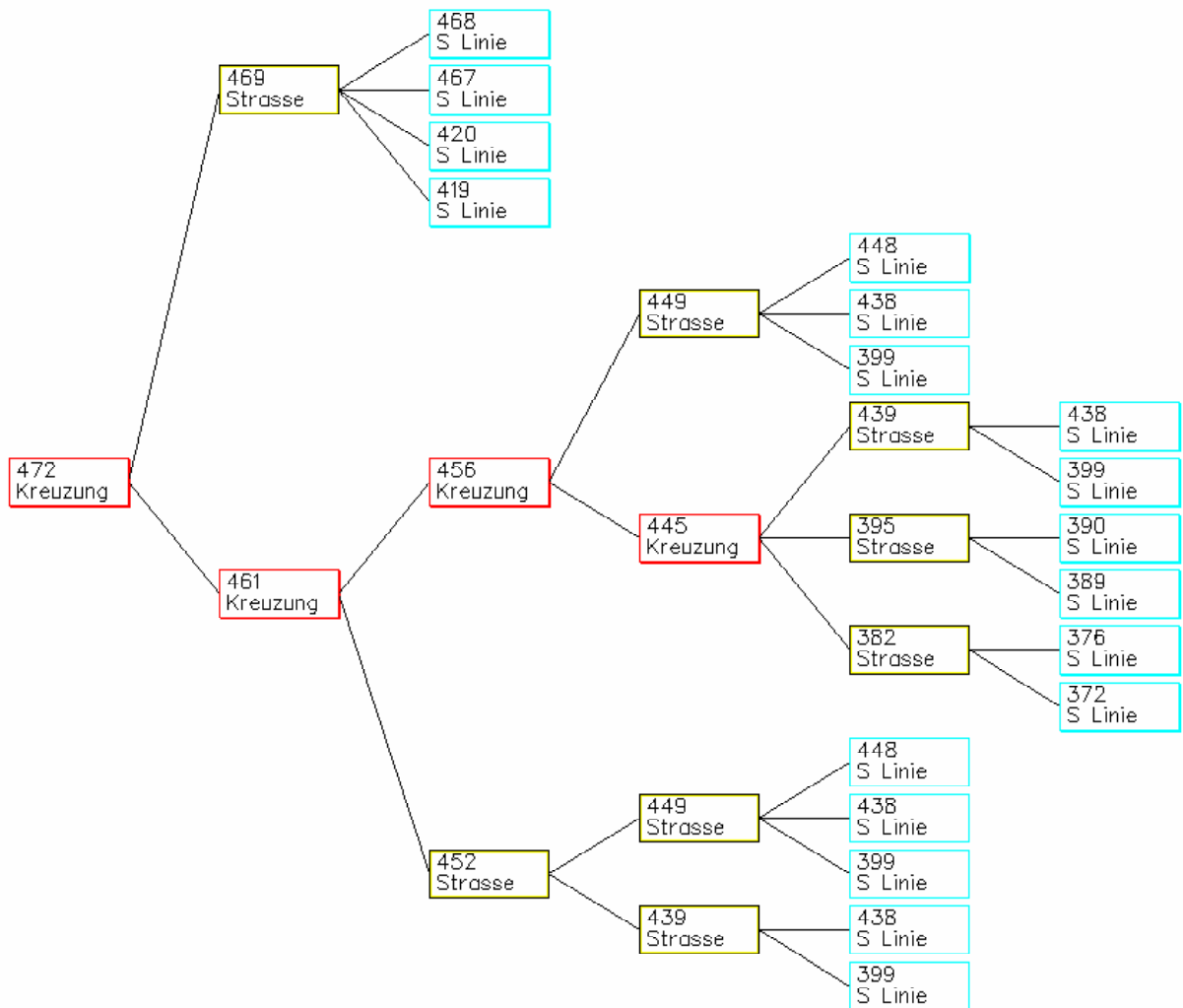


Abb. 8-1: Ableitungsgraph der **Kreuzung** mit Objektindex 472

fend vergeben wird, kann die Generierungsreihenfolge von Objekten aus dem Objektindex abgelesen werden. Geometrische Darstellungen der Objekte des Ableitungsgraphen (Abb. 8-1) sind in den Abb. 8-2a bis Abb. 8-2l zu finden. Die abgetastete Karte ist zur Orientierung als Hintergrundbild eingebildet.

Die Synthese des in Abb. 8-1 dargestellten Ableitungsgraphen beginnt mit den beiden in Abb. 8-2a gezeigten Objekten **S_Linie** (372, 376). Aus diesen beiden Objekten wird mit der Produktion P_3 (Tab. 7-1) das Objekt **Strasse** (382) aufgebaut (gelbe Fläche in Abb. 8-2b). Auf der gegenüberliegenden Seite dieses Objektes werden durch P_2 die Objekte **S_Linie** (389, 390) generiert (Abb. 8-2c), die dann mit P_3 zu dem Objekt **Strasse** (395) zusammengesetzt werden (Abb. 8-2d). Zu einer Kreuzung können die beiden **Strassen** (382, 395) (Abb. 8-2d) nicht zusammengesetzt werden, da der einge-

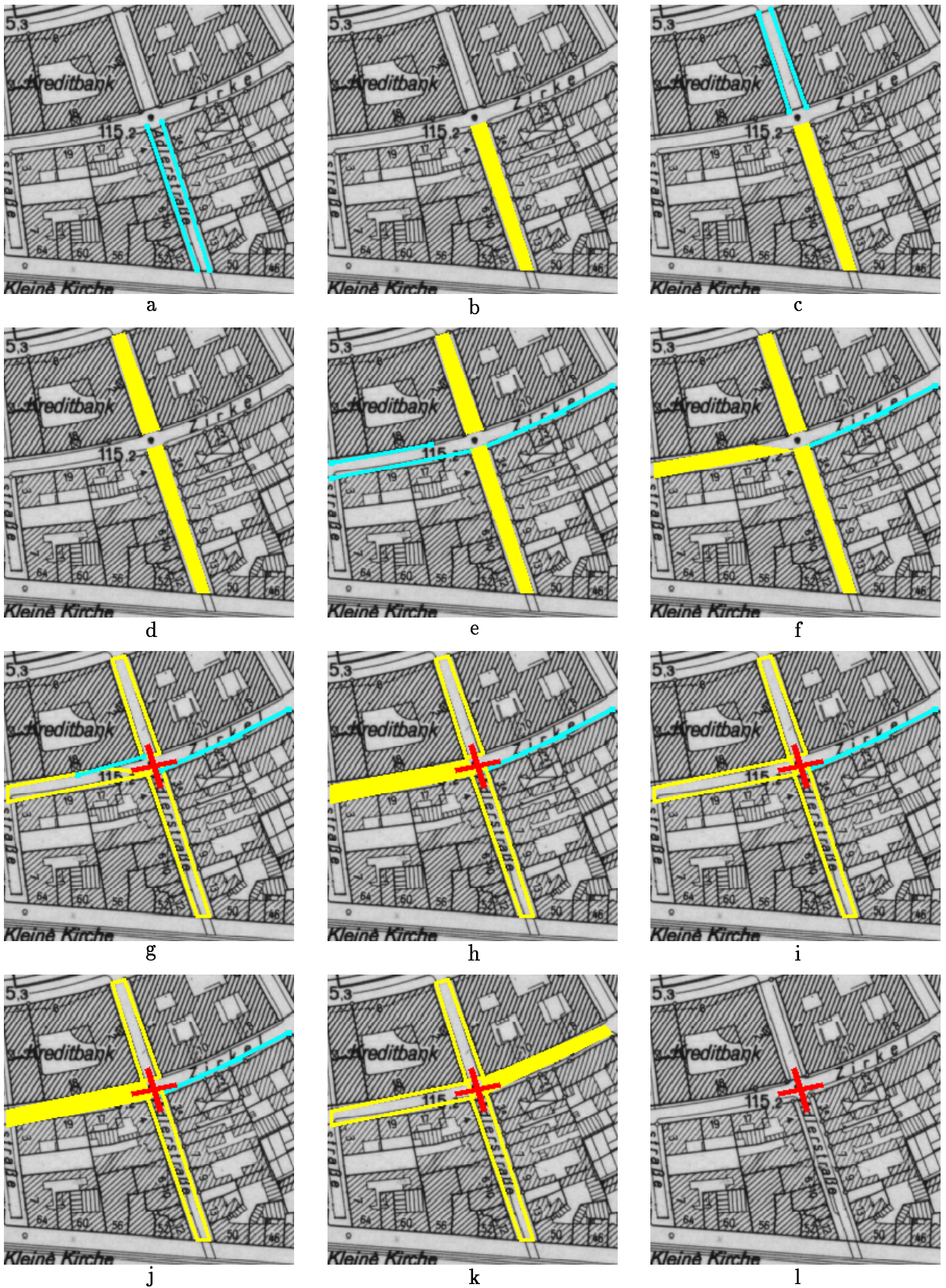


Abb. 8-2: Darstellung der Teilobjekte der **Kreuzung** (472)(vergl. Abb. 8-1). a) - l) siehe Text

schlossene Winkel zu groß ist.

Es entstehen im weiteren Ablauf durch Anwendung von P_2 vier Objekte *S_Linie*, die in Abb. 8-2e zusätzlich zu den Straßen eingetragen sind. Zwei dieser Objekte *S_Linie* (339, 438) treten gegenüberliegend auf der linken Bildseite auf und zwei Objekte *S_Linie* (419,420) überlappend auf der rechten Bildseite. Aus den beiden Objekten *S_Linie* (339, 438) der linken Bildseite wird mit P_3 das Objekt *Strasse* (439) aufgebaut (Abb. 8-2f), dessen obere Kante nicht ganz bis zur Straßeneinmündung reicht.

Mit dem Aufbau des dritten Objektes *Strasse* (439) wird durch Anwendung von P_5 das Objekt *Kreuzung* (445) generiert. Das Objekt *Kreuzung* ist in Abb. 8-2g durch ein rotes Kreuz gekennzeichnet, wobei die es aufbauenden Objekte *Strasse* durch gelbe Umrahmung dargestellt sind. Nach der Generierung der *Kreuzung* entsteht durch Anwendung von P_2 das Objekt *S_Linie* (448), das in Abb. 8-2g links von der Kreuzung lokalisiert ist.

Dieses Objekt bildet nun mit den Objekten *S_Linie* (399, 438) (siehe links in Abb. 8-2e) durch P_3 erneut ein Objekt *Strasse*. Dieses neue Objekt *Strasse* (449) (gelbe Fläche in Abb. 8-2h) ist dem bereits bestehenden Objekt *Strasse* (439) (linke gelbe Fläche in Abb. 8-2f) überlagert. Das neue Objekt *Strasse* (449) schließt geometrisch das Objekt *Strasse* (439) ein. Es besitzt zudem noch dieselben Vorgängerobjekte (399, 438) von Objekt *Strasse* (449) als Teilmenge der eigenen Vorgängerobjekte (399, 438, 448).

Dieses "umfassendere" Objekt *Strasse* (449) bildet mit dem bestehenden Objekt *Kreuzung* (445) durch Ausführung von P_6 erneut ein Objekt *Kreuzung* (456) (Abb. 8-2i). Die Anwendung von P_4 generiert aus den beiden Objekten *Strasse* (439, 449) das zusammenfassende Objekt *Strasse* (452) (siehe gelbe Fläche in Abb. 8-2j). Wiederum wird durch Anwendung von P_6 ein Objekt *Kreuzung* (461) generiert (Abb. 8-2k), das nun aus dem Objekt *Strasse* (452) und dem bereits bestehenden Objekt *Kreuzung* (456) aufgebaut ist.

Durch die Generierung der Objekte *S_Linie* (467, 468) kann mit den bereits bestehenden Objekten *S_Linie* (419, 420) durch Anwendung von P_3 das rechts der Kreuzung liegende Objekt *Strasse* (469) zusammengesetzt werden (gelbe Fläche in Abb. 8-2k). Abschließend wird mit diesem Objekt und dem bestehenden Objekt *Kreuzung* (461) mit P_6 das Objekt *Kreuzung* (472) erzeugt.

8.2 Bildbeschreibungsgraph

In den Ableitungsgraphen sind alle generierten Zwischenergebnisse (Teilobjekte) einer Analyse eingetragen und verzweigt. Der sich in dem Ableitungsgraphen widerspie-

gelnde spezielle Ablauf der Analyse bzw. des Synthesevorgangs ist jedoch für eine allgemeine Bildbeschreibung nicht von Interesse. Der Ableitungsgraph wird daher in einen Bildbeschreibungsgraphen überführt.

Der Bildbeschreibungsgraph ist ein spezieller hierarchischer attributierter relationaler Graph. Wie bei dem Ableitungsgraphen beschreiben beim Bildbeschreibungsgraph die Knoten Objekte und die Kanten die Teil_von-Relation. Innerhalb einer Hierarchiestufe treten jedoch nur Objekte vom gleichen Typ auf.

Der Ableitungsgraph wird, beginnend von dem Zielobjekt, in Abb. 8-1 dahingehend untersucht, ob die Vorgänger eines Knotens vom gleichen Typ sind. Sind sie vom gleichen Typ, so werden sie nicht in den Bildbeschreibungsgraphen übernommen. Beispielsweise werden im Ableitungsgraphen (Abb. 8-1) von dem Objekt *Strasse* (452) die Vorgängerobjekte *Strasse* (439, 449) nicht übernommen. Die Vorgänger nicht übernommener Knoten werden dem nächst höheren Knoten zugewiesen. Knoten 452 erhält also die Objekte *S_Linie* (399, 438, 448) (siehe Abb. 8-3 und vergl. Abb. 8-1). Dabei wird untersucht, ob nicht übernommene Objekte auch in anderen Pfaden auftreten.

Aus dem in Abb. 8-1 dargestellten Ableitungsgraphen wird der in Abb. 8-3 dargestellte Bildbeschreibungsgraph generiert.

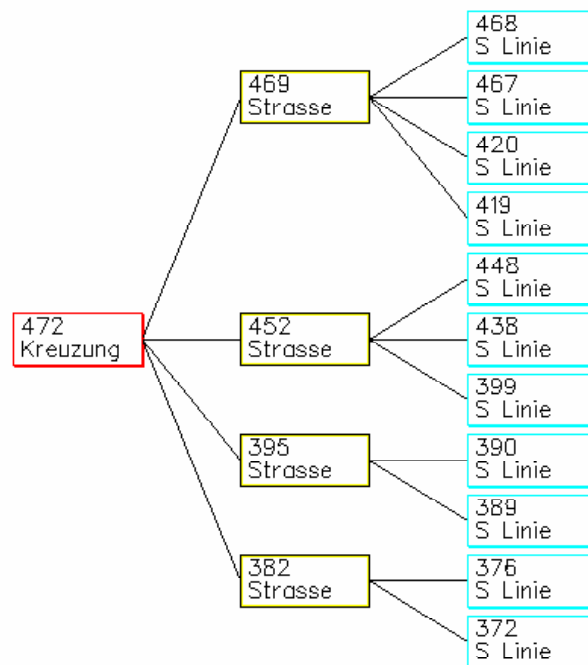


Abb. 8-4a

Abb. 8-4b

Abb. 8-4c

Abb. 8-3: Bildbeschreibungsgraph der Kreuzung mit Objektindex 472 (vergl. Abb. 8-1)

Die Beschreibung eines Ziel- oder Teilobjektes kann nun durch verschiedene Stufen (Beschreibungsstufen) mit der Menge der Objekte einer Stufe und der Objektattribute dargestellt werden. Die verschiedenen Beschreibungsstufen entsprechen in diesem Beispiel verschiedenen Stufen der Abstraktion bzw. Generalisation.

Auf der obersten Beschreibungsstufe wird die untersuchte Kreuzung durch das einzelne Objekt **Kreuzung** (472) mit dem Attribut *Position des Kreuzungspunktes* beschrieben (Abb. 8-4a). Eine ausführlichere Beschreibung der Kreuzung ist durch die Beschreibungsstufe **Strasse** gegeben. Die Kreuzung wird durch die vier Objekte **Strasse** (469, 452, 395 382) dargestellt (Abb. 8-4b). Jedes Objekt **Strasse** besitzt die Attribute *Orientierung*, *Mittlere Breite* und *Position der Eckpunkte*. Eine detailliertere Darstellung wird durch die Beschreibungsstufe der Vorgängerobjekte **S_Linie** (Abb. 8-4c) oder durch die Primitivobjekte **Linie** gegeben. Das durch das Zielobjekt erfaßte Strassenetz liegt mit dem Bildbeschreibungsgraphen in den Beschreibungsstufen **Strassenetz**, **Kreuzung**, **Strassen**, **S_Linie** und **Linie** vor.

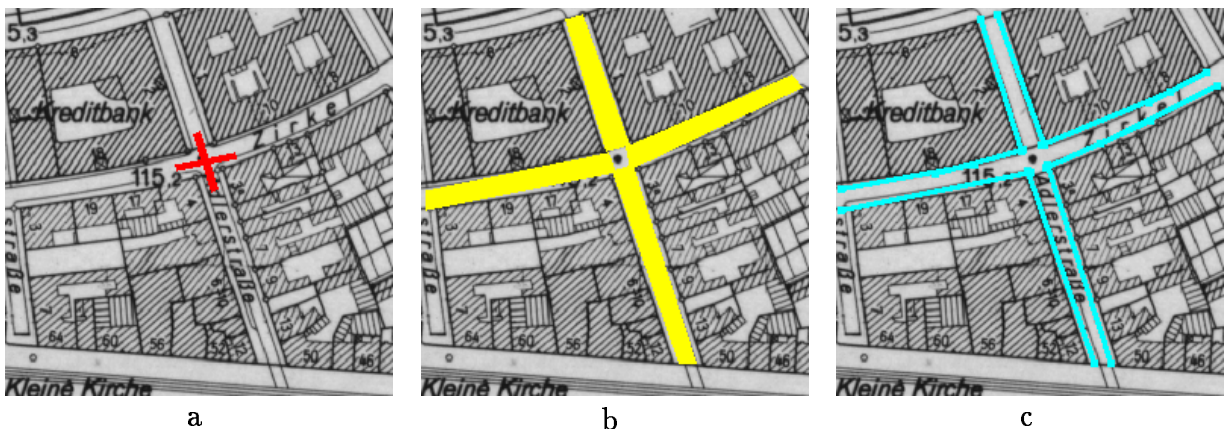


Abb. 8-4: Darstellung der Objekte des Bildbeschreibungsgraphen von Abb. 8-3.

- a) Bildbeschreibungsstufe **Kreuzung**
- b) Bildbeschreibungsstufe **Strasse**
- c) Bildbeschreibungsstufe **S_Linie**

9. Bildanalyse

Zur Analyse des Luftbildes wurde ein erstes vorläufiges System erstellt, bei dem die in [17] beschriebenen Produktionen für den Aufbau eines Straßennetzes implementiert sind. Im Luftbild werden ähnlich wie bei der Kartenanalyse (siehe Kap. 7) Strassenkreuzungen klassifiziert. Für einen Ausschnitt des Luftbildes wurde ein Auswertelauf durchgeführt, bei dem keine Karteninformation als Kontextwissen verwendet wurde. Das Ergebnis dieser Luftbildanalyse ist in Abb. 9-1 dargestellt.

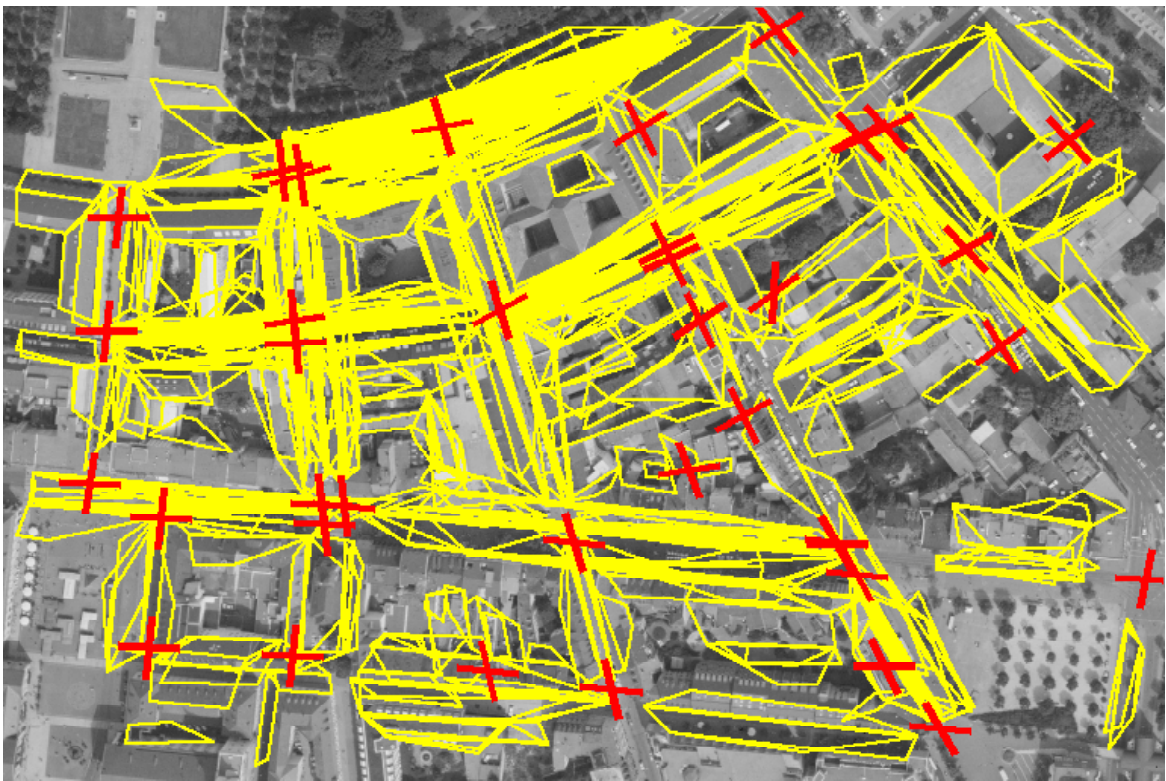


Abb. 9-1: Ergebnis der Analyse des Luftbildes ohne Karteninformation

Die klassifizierten Objekte *Kreuzung* (rot) und *Strasse* (gelb) sind dem Luftbild als Graphik überlagert. Die graphische Überlagerung zeigt, daß eine Vielzahl von streifenförmigen Objekten (z.B. Hausdächer) als Strasse klassifiziert sind.

Dies deutet auf die Problematik hin, die auftritt, wenn die Luftbildanalyse ohne Kontextwissen durchgeführt wird. Für eine Klassifikation der Objekte sind die Prädikate der Produktionen vage definiert. So ist z.B. für die Generierung des Objektes *Strasse* ein Intervall für den akzeptierten Abstand parallel angeordneter Linien definiert, der

sich aus einem mittleren Wert der Straßenbreite und einem breiten Toleranzbereich ergibt. Damit sollen alle im Luftbild abgebildeten Strassen unterschiedlicher Breite erfaßt werden. Es werden durch die vage Definition jedoch auch viele Objekte erfaßt, die keine Straße darstellen.

Für die in der Vorhabensphase II vorgeschlagene Verifikation kann mit Hilfe der Objektbeschreibung aus der Karte der Toleranzbereich reduziert werden, indem für die am jeweiligen Ort vorliegende Straße die erwartete Breite vorgegeben wird.

10. Zusammenfassung

Nach Diskussionen mit Behördenvertretern wurde ein erster Ansatz zur Beschreibung der Bodenversiegelungsstufen erarbeitet.

Als vorbereitende Arbeiten für die Bildanalyse wurde das vorliegende Datenmaterial (Luftbilder und Kartenmaterial) in rechnerverwendbare Form gebracht. Es wurden 7 Luftbilder komplett, sowie Ausschnitte davon in verschiedenen Auflösungsstufen abgetastet. Zusätzlich erfolgte eine Abtastung eines Ausschnittes aus dem Kartenmaterial. Durch manuelle Digitalisierung wurde eine digitale Karte nach verschiedenen Objektklassen aufgenommen.

Zum Transfer der digitalen Karte in externe Bildverarbeitungssysteme wurde eine Schnittstelle zu einem Geoinformationssystem definiert, in dem die digitale Karte abgelegt ist, und Schnittstellenmodule erstellt. Zur Nutzung des Kartenwissens erfolgte eine Registrierung zwischen Karte und Luftbild.

Das Bildverarbeitungssystem KBVision wurde beschafft und auf einem SUN Rechner installiert. Es wurden zur Objektextraktion ein Verfahren auf der Basis eines Neuronalen Netzes entwickelt und ein Mehrfachschwellenverfahren erprobt.

Zur Bereitstellung des Kontextwissens war für die Luftbildanalyse zunächst die digitale Karte zu analysieren. Als Beispiel wurde die Objektebene *Straßen* ausgewählt. Hierfür wurde ein Analysesystem realisiert, mit dem ein Ausschnitt aus der digitalen Karte klassifiziert und ein Bildbeschreibungsgraph erzeugt wurde. Der Bildbeschreibungsgraph beschreibt den Karteninhalt durch attributierte Objekte und Relationen zwischen den Objekten.

Weiterhin wurde ein erstes vorläufiges System zur Luftbildanalyse implementiert, das die Klassifikation eines Straßennetzes ohne Nutzung von Kartenwissen durchführt. Der hier vorgesehene strukturelle Ansatz gestattet die Nutzung von Kontextwissen zur Objektverifikation in Luftbildern. Um für die Versiegelungsanalyse ausreichend präzise Aussagen über eine größere Anzahl unterschiedlicher Objekte zu erhalten, ist die Nutzung von Kartenwissen vorgesehen.

Anhang A.

BLD	Datum	Uhrzeit	Höhe	Brennweite	Maßstab
Ka1-Ka5	01.08.88	12:00	2 km	153.57 mm	1: 6300
Ka6-Ka7	07.09.88	15:30	6 km	304.82 mm	1:40000

Tabelle A-1: Daten zum Luftbildmaterial

Anhang B. Schnittstelle zwischen den Datenbasen ARC/INFO und BPI

Zur Konvertierung und Kontrolle des DLG-Formates (siehe Kap. 4) wurden vier Schnittstellen-Module mit folgenden Funktionen erstellt:

- **Konvertierung DLG-Format in BPI-Format**

Die Linien (*lines*) einer DLG-Datei können neben dem Anfangs- und Endpunkt mehrere Stützpunkte enthalten. Die in die BPI-Datenbasis als Objektprimitive eingelesenen *Linien* werden als gerade angenommen und besitzen als Attribute zur Position nur Anfangs- und Endpunkt. Daher wird die Linie (*line*) einer DLG-Datei mit Hilfe der Stützpunkte in einzelne gerade Liniensegmente aufgespalten. Die Anfangs- und Endpunkte der Liniensegmente werden von dem F-Koordinatensystem in das G-Koordinatensystem transformiert (siehe Kap. 3.3 und Abb. 3-9). Die transformierten Dateidaten bilden die Grundlage für die Generierung der Objektprimitive bei der Kartenanalyse.

- **Konvertierung BPI-Format in DLG-Format**

Die Ergebnisse einer Bildanalyse (BPI-System) werden in das DLG-Format gewandelt. Dazu werden zunächst *Linien* und Flächen auf eine Datei geschrieben. Aus dieser Datei werden Knoten (*nodes*), Linien (*lines*) und Flächen (*areas*) aufgelistet, und aus den Knoten (*nodes*) und Linien (*lines*) wird ein zweidimensionaler Graph erzeugt. Mit einem eingebundenen DLG-Dateikopf und den Informationen zur Graphenstruktur werden die Elemente in einer Datei gespeichert.

- **Überprüfung des DLG-Formates**

Mit diesem Modul können Fehler im Format einer DLG-Datei, die mit ARC/INFO oder dem Konvertierungsmodul erstellt wurde, festgestellt werden. Neben der syntaktischen Überprüfung des Formates werden auch inhaltliche Informationen überprüft. Zum Beispiel steht in der letzten Zeile des Kopfes einer DLG-Datei die Anzahl der in der Datei vorhandenen Linien (*lines*). Stimmt die Anzahl nicht mit der tatsächlich vorhandenen Anzahl von Linien überein, wird dieser Fehler mit einem erklärenden Text vermerkt.

- **Dump für eine Datei im DLG-Format**

Von einer DLG-Datei kann ein Dump (siehe Auszug in Abb. B-1) erstellt werden; d.h. die Informationen aus der DLG-Datei werden mit einem bedeutungserläuternden Begleittext auf eine Datei geschrieben. Zusätzlich findet ein Eintrag der

Elemente in die Blackboard-Datenbasis statt, so daß eine graphische Darstellung (siehe Abb. 3-8) und Untersuchung (siehe [17]) mit der Erklärungskomponente WEEK ermöglicht wird.

```

***** DUMP of test_new.dat *****
year of original source material : 1992
scale denominator of source material : 0
DLG level code : 3
code defining ground planimetric reference system (g.p.r.s.): 0
. . .
projection parameters for map transformation [1] : 0.0000000000
. . .
internal file-to-map transformation projection parameters [1] :0.000467975037
. . .
corner point SW latitude : 0.0000000000
corner point SW longitude : 0.0000000000
corner point SW internal file x-pos : 0.0000000000
corner point SW internal file y-pos : 0.0000000000
corner point NW latitude : 0.0000000000
. . .
corner point NE latitude : 0.0000000000
. . .
corner point SE latitude : 0.0000000000
. . .
coverage name : test
attribute format codes : 0
number of nodes referenced in file : 12
actual number of nodes in file : 12
. . .
***** NODES *****
node number : 1
node coordinates (original) : 99203.98 , 152306.16
node coordinates (gauss_krueger) : 242.048862998622 , 149.479360034612
number of elements in an area list : 0
number of lines connected to node : 2
number of points in an area-coordinate list : 0
number of attributes : 0
number of text characters listed : 0
line begins at node : 1
line ends at node : -4
. . .
***** AREAS *****
Area number : 1
Area coordinates (original) : 0.00 , 0.00
Area coordinates (gauss_krueger) : 195.779756223872 , 78.102589865867
number of elements in an area list : 0
number of x,y or lat-long points in an area-coordinate list : 0
number of attributes listed: 0
number of text characters listed : 0
number of lines that bound the Area : 12
number of islands within areas: 2
line with this area to the left : -1
line with this area to the left : -2
line with this area to the left : -3
line with this area to the right : 4
island : 0
. . .
***** LINES *****
line number : 1
number of node line starts : 1
number of node line ends : 2
number of left area : 1
number of right area : 2
number of coordinate pairs : 2
number of attributes : 0
number of text characters : 0
x,y coordinates of line (original): 99203.98 , 152306.16
x,y coordinates of line (gauss-krueger): 242.048862998622 , 149.479360034612
x,y coordinates of line (original): 123190.38 , 150703.52
x,y coordinates of line (gauss-krueger): 253.275511729108 , 148.753898020739
. . .

```

Abb. B-1: Auszug aus dem Dump einer DLG-Datei

Literaturverzeichnis

- [1] Ashdown M, Schaller J (1986) Geographische Informationssysteme und ihre Anwendung in MAB-Projekten, Ökosystemforschung und Umweltbeobachtung. Deutsches MAB-Nationalkomitee. Bonn: Bundesforschungsanstalt für Naturschutz und Landschaftsökologie
- [2] Burns JB, Hanson AR, Riseman EM (1986) Extracting Straight Lines. *IEEE PAMI*, **8**: 425-455
- [3] Burrough PA (1986) Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey 12. Clarendon Press
- [4] Duda R, Hart PE (1972) Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures. *Communications of the ACM*, **15**: 11-15
- [5] Füger H, Lütjen K, Jurkiewicz K (1990) Kontextsensitive Bildanalyse in Luftbildern. In: Großkopf RE (ed) Mustererkennung 1990, 12. DAGM-Symposium. Berlin: Springer, 585-592
- [6] Füger H, Lütjen K, Michaelsen E, Schwan G (1990) Strukturorientierte 3D-Szenenanalyse in Bildfolgen. In: Großkopf RE (ed) Mustererkennung 1990, 12. DAGM-Symposium. Berlin: Springer, 659-666
- [7] Füger H, Jurkiewicz K, Lütjen K, Stilla U (1992) Ein wissensbasiertes System für die automatische Bildanalyse. *Proceedings ISPRS Conference*, Washington
- [8] Herman M, T. Kanade T (1986) Incremental Reconstruction of 3D Scenes from Multiple, Complex Images. *Artificial Intelligence*, **30**: 289-341
- [9] Huertas A, Nevatia R (1988) Detecting Buildings in Aerial Images. *Computer Vision, Graphic and Image Processing*, **41**: 131-152
- [10] NN (1991) Ausschnitt aus der Karte der Bodenversiegelung der Stadt Oberhausen. *ZPF 59*, Nr. 3
- [11] Landesvermessungsamt Baden-Württemberg (1991) Kartenverzeichnis. Stuttgart: Landesvermessungsamt
- [12] Lütjen K (1986) Ein Blackboard-basiertes Produktionssystem für die automatische Bildauswertung. In: Hartmann G (ed) Mustererkennung 1986, 8. DAGM-Symposium. Berlin: Springer, 164-168

- [13] Lütjen K, Füger H, Greif HJ, Jurkiewicz K (1987) Auswahlverfahren für die wissensbasierte Bildauswertung mit dem blackboard-orientierten Produktionssystem BPI. In: Paulus E (ed) Mustererkennung 1987, 9. DAGM-Symposium. Berlin: Springer, 290-294
- [14] Mohan R, Nevatia R (1989) Using Perceptual Organization to Extract 3-D Structures. *IEEE PAMI*, **11**: 1121-1139.
- [15] Nevatia R, Babu KR (1980) Linear Feature Extraction and Description. *Computer Graphics and Image Processing*, **13**: 257-269
- [16] Scholten HJ, Stillwell JCH (1990) Geographical Information Systems: The Emerging Requirements. In: Scholten HJ, Stillwell JCH (eds) Geographical Information System for Urban and Regional Planning. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 3-14
- [17] Stilla U, Jurkiewicz K (1991) Objektklassifikation mit einem blackboardorientierten Inferenzmechanismus. Ettlingen: FIM/FGAN, FIM Bericht 230
- [18] Venkateswar V, Chellappa R (1990) Extraction of Straight Lines in Aerial Images. *Proceedings of Fifth European Signal Processing Conference*, 1671-1674
- [19] Zheng YL (1992) Extracting Linear Features in Digital Images - A Neural Network Oriented Approach. *Proceedings ISPRS Conference*, Washington