

Datenstrukturen für
Landinformationssysteme -
Semantische, topologische und
räumliche Beziehungen in Daten
der Geo-Wissenschaften

André Frank

Juli 1983

Copyright by
Institut für Geodäsie and Photogrammetrie an der Eidg. Technischen Hochschule Zürich

Alle Rechte vorbehalten

Auflage 800 Exemplare

Vorwort

Die hiermit veröffentlichte Arbeit «Datenstrukturen für Landinformationssysteme» ist ein Ergebnis des gleichnamigen Forschungsprojektes, das die Schulleitung der ETH Zürich im Jahr 1979 bewilligt und finanziert hat. Bis auf einige sprachliche Überarbeitungen entspricht sie der von der Vorständekonferenz der ETHZ genehmigten Doktorarbeit von Herrn dipl. Kult. Ing. André Frank.

Es bietet sich in diesem Vorwort die Gelegenheit, den Korreferenten dieser Dissertation, Herrn Prof. Dr. C.A. Zehnder, mit einem ausführlichen Zitat aus seinem Korreferat zu Wort kommen zu lassen:

«Während in der Praxis noch viele Computeranwendungen wenig systematisch entwickelt werden und damit fehleranfällig und wenig unterhaltsfreundlich sind, stellt die Informatik bereits heute in vielen Bereichen bessere Methoden bereit. Es ist A. Franks Verdienst, dass er mit seinem breit orientierten Interesse über den Graben springen und moderne Informatikmethoden in den Vermessungsbereich einbringen konnte.

Gerade im Vermessungswesen, aber auch in anderen Bereichen der Geo-Wissenschaften, werden sehr grosse Datenmengen (früher auf Plänen, heute numerisch) mit grossem Aufwand bereitgestellt, aufgearbeitet und — wenn möglich — langfristig benutzt „Langfristig“ heisst dabei viele Dekaden, sicher mehr als die Lebensdauer eines Computersystems. Der Wert der Daten hängt somit wesentlich davon ab, ob eine computerunabhängige, logische Datenbeschreibung möglich und verfügbar ist.

A. Frank hat nun systematisch einerseits moderne Datenbeschreibungstechniken (bei den Informatikern) studiert, andererseits (bei den Vermessern und anderen Anwendern) reale geometrische Sachverhalte untersucht und beschrieben. Dazu musste er die inneren Zusammenhänge der geometrischen Daten, etwa die Baumform eines Flusssystemes oder die Zyklenform eines Parzellenplans, in die Darstellung aufnehmen. Noch weiter gehen Überlegungen, um die innere

Widerspruchsfreiheit (*Konsistenz*) solcher Datensysteme darzustellen.

Die Arbeit Franks erschöpft sich aber nicht in theoretischen Überlegungen. Er hat früh (ab 1977) begonnen, Beispiele von Datenbanken konkret aufzubauen. Am Schluss seiner praktischen Arbeiten steht sogar die Entwicklung eines eigenen kleinen Datenbanksystems (= Software für die Datenverwaltung) namens PANDA, dem aber modernen Entwurfsüberlegungen (relationales Datenmodell, strukturierte Programmiersprache PASCAL) unterliegen. Auch enthält die Arbeit nützliche Überlegungen zur Optimierung von Speichertechniken bei zwei-dimensionalen Geo-Daten.

Die Bedeutung der Arbeit von A. Frank liegt aber nicht darin, dass er nun ein (kleines) System entwickelt hat, das Geo-Daten verwalten kann. Für Systeme in der Praxis braucht es noch manchen zusätzlichen Schritt. Die Bedeutung von Franks Arbeit liegt in ihrer Interdisziplinarität, welche dem potentiellen Anwender von Landinformationssystemen die dafür notwendigen modernen Techniken der Datenanalyse und -strukturierung zugänglich macht. Das ist eine grosse Aufgabe, und Franks Arbeit wird nicht abgewertet, wenn darauf hingewiesen wird, dass er gelegentlich die Gewichte wieder neu verteilen musste. Es ist zu hoffen, dass mit dieser Publikation ein weiterer Anstoss zur Verwendung zweckmässiger Informatikmethoden im Bereich der Geo-Wissenschaften geleistet werden kann...»

Diesen Ausführungen von kompetenter Seite möchte ich beifügen, dass das Vermessungswesen Herrn Prof. Zehnder für seine engagierte Anteilnahme an dieser Arbeit grossen Dank schuldet.

Dank und Anerkennung gebührt aber natürlich auch dem Autor, Herrn Dr. André Frank. Anfangs Januar 1977 erhielt er als mein frisch ernannter Assistent den Auftrag, zu studieren und darzustellen, was hinter dem damaligen Modewort Datenbank eigentlich stecke und was wir Geodäten damit anfangen könnten. Er hat mit dieser Arbeit diesen Auftrag — ich glaube zum Nutzen vieler Geodäten — erfüllt.

R. Conzett

Inhalt

Überblick	Seite 7	4.3 Hierarchie von Partitionen	57
		4.4 Netz	58
Erster Teil		Fünfter Teil	
Landinformationssysteme		Konzeptionelles Schema	
1.1 Das schweizerische Vermessungs- wesen	11	5.1 Datenbank	63
1.2 Begriff «Landinformationssystem»	13	5.2 Datenstrukturen - Datenmodell	66
1.3 Die Begriffe «Wirklichkeit», «Modell», «Daten» und «Information»	17	5.3 Datenbank-Entwurf	70
1.4 Problemstellung dieser Arbeit	19	5.4 Die Datenstruktur eines Land- informationssystems im erweiterten Entitäten-Block-Diagramm	71
Zweiter Teil		5.5 Einfache Konsistenzbedingungen	79
Daten eines Landinformationssystems		5.6 Komplexe Konsistenzbedingungen	80
2.1 Daten beim Geometer	23	5.7 Zugriffspfade	83
2.2 Grundbuchdaten	28	5.8 Transaktionen und Konsistenz	85
2.3 Daten der Gemeindeverwaltung	31	Sechster Teil	
2.4 Zusammenfassung	33	Raumbezug	
Dritter Teil		6.1 Das Konzept «Raumbezug»	87
Strukturierung zweidimensionaler Sachver- halte:		6.2 Raumbezogene Abfragen und Zugriff	88
Geometrische Primitive		6.3 Felder-Methode für den raum- bezogenen Zugriff	91
3.1 Grundlagen	35	6.4 Abbildung der Feldereinteilung auf die physische Speicherung	95
3.2 Geometrische Primitive	38	6.5 Andere bekannte Methoden für raumbezogenen Zugriff	97
3.3 Metrische Operationen mit geometri- schen Primitiven	39	Siebenter Teil	
3.4 Ableitung der eindeutigen, absoluten Geometrie	41	Gesamtkonzept und Erfahrung	
3.5 Konsistenzbedingungen: Eindeutig- keit und Vollständigkeit für geome- trische Primitive	43	7.1 Zusammenfassung «Geometrischer Datenstrukturen»	99
3.6 Bedeutung der geometrischen Figu- ren	46	7.2 Vergleich mit anderen Verfahren zur Strukturierung geometrischer Daten	100
3.7 Topologische Operationen mit geo- metrischen Primitiven	47	7.3 Datenbeschreibung mit dem erwei- terten Entitäten-Block-Diagramm	102
3.8 Zusammenfassung	48	7.4 MINI-LIS als Beispiel einer Anwen- dung	103
Vierter Teil		7.5 Rückblick	104
Strukturierung zweidimensionaler Sachver- halte:		Zusammenfassung	105
Geometrische Grundstrukturen		Abstract	105
4.1 Was sind geometrische Grundstruktu- ren?	51	Literaturverzeichnis	107
4.2 Partition	54	Begriffsverzeichnis	114
		Verwendete Abkürzungen	115

Überblick

Diese Arbeit untersucht die Struktur, das heisst den Aufbau und die inneren Beziehungen, der in einem Landinformationssystem auftretenden Daten. Im täglichen Umgang setzen wir diese Beziehungen ständig voraus, häufig aber ohne uns dessen bewusst zu sein.

Beispiele: Häuser gehören zu Strassen, Häuser stehen auf Parzellen, Parzellen haben immer Eigentümer.

Solche Beziehungen sind aber bei der Verarbeitung von Daten in modernen elektronischen Datenverarbeitungsanlagen von ausschlaggebender Bedeutung. Meistens werden sie vom Programmierer bei der Analyse einer Aufgabe erkannt und entsprechend im Programm kodiert, ohne dass sie als typische Strukturen umfassend untersucht und offengelegt werden. Bei Landinformationssystemen ist dieses Vorgehen nicht angebracht, denn hier sollen Daten im Hinblick auf eine Vielzahl unterschiedlicher Aufgaben, die zum Teil im voraus gar nicht zu formulieren sind, gespeichert werden. Die Struktur der Daten muss also unabhängig von einem bestimmten Problem, einem bestimmten Programm, erfasst und beschrieben werden. Die einmal gewählte Struktur begrenzt dann aber auch den Bereich zukünftiger An-wendungen.

Zur näheren Beschreibung der Struktur der Daten gehören Konsistenzüberlegungen, wobei für die Beziehungen bestimmte Bedingungen festgelegt werden. Bei Eingaben und Änderungen von Daten wird dann geprüft, ob diese Konsistenzbedingungen erfüllt sind. Damit kann vermieden werden, dass falsche oder unvollständige Daten in die Datensammlung gelangen. Alle Anwenderprogramme, auch solche, die erst in Zukunft entstehen werden, können sich bei der Verarbeitung auf die Datenbeschreibung und diese Konsistenzbedingungen stützen.

Beispiel: Weil festgelegt ist, dass Parzellen immer einen Eigentümer haben müssen, ist es immer möglich, nach dem Eigentümer einer Parzelle zu fragen.

In dieser Arbeit werden im ersten Teil einige Hinweise gegeben, warum es zweckmässig ist, im Vermessungswesen elektronische Datenverarbeitung einzusetzen. Danach wird die einem modernen Vermessungskonzept zugrundeliegende Idee «Landinformationssystem», erläutert, und es werden andere grundlegende Begriffe, wie «Daten» und «Information», erklärt.

Der zweite Teil gibt ein *Inventar von Daten*, wie sie in einem Landinformationssystem bearbeitet werden. Im Sinne einer Auswahl werden besonders die Arbeitsbereiche des Geometers, des Grundbuchverwalters und der Gemeindeverwaltung berücksichtigt. Aus dieser systematischen Aufzählung ergeben sich die Zusammenhänge zwischen den administrativ beschreibenden Daten wie Eigentümer, Parzelle, Häuser und Parkplätze recht gut. Hingegen zeigt sich, dass die Struktur der Daten, die geometrische Sachverhalte beschreiben, noch wenig klar ist

Im dritten und vierten Teil werden die *topologischen* Beziehungen von Objekten, die zweidimensionale geometrische Sachverhalte beschrieben, eingehend und unabhängig von bestimmten Bedeutungen analysiert. Zuerst werden die *einfachsten geometrischen Objekte, nämlich Punkt und Linie*, untersucht und nachher daraus komplexere *geometrische Grundstrukturen* zusammengesetzt. Auf diese Weise gelingt es, die geometrischen Sachverhalte, wie sie in einem Landinformationssystem auftreten, abstrakt zu beschreiben und dabei wichtige, typische Eigenschaften zu erkennen.

Im fünften Teil wird dieses Konzept auf die im zweiten Teil beschriebenen Daten angewendet; in einem *konzeptionellen (logischen) Schema* werden die *semantischen* Datenstrukturen formal beschrieben.

Die ganz anders geartete *räumliche* Struktur der *Nachbarschaftsbeziehungen*, die allen Daten in einem Landinformationssystem eigen ist, wird im sechsten Teil erläutert. Der Zugriff auf alle Daten von Objekten, die an einen bestimmten Bereich im Raum gebunden sind, der sogenannte *raumbezogene Zugriff*, spielt sowohl für die graphische Darstellung der Daten in Karten

und Plänen als auch für interne Operationen eine sehr grosse Rolle. Den Schluss bilden eine *Zusammenfassung* der *Ergebnisse* und ein Vergleich mit andern aus der Literatur bekannten Vorschlägen.

Die hier vorgelegte Arbeit behandelt Probleme der amtlichen Vermessung mit Datenbankmethoden. Sie richtet sich damit an zwei unterschiedliche Leserkreise: einerseits an Vermessungsfachleute, die sich mit der Anwendung von EDV befassen, andererseits an Informatiker, die sich für diese Anwendung von EDV interessieren. Damit ist auch ein kaum lösbarer Konflikt vorauszusehen: Dem Fachmann wird die Darstellung der Fakten seines Gebietes zu stark vereinfacht vorkommen, wogegen er diejenigen des anderen Gebietes ausführlicher dargestellt haben möchte. Mit derartiger Kritik muss wohl jeder rechnen, der fachübergreifend arbeitet.

Dem Vermessungsfachmann möchte diese Arbeit vor allem zeigen, welche Hilfsmittel die Informatik heute bereitstellt, um Vermessungsaufgaben zu bearbeiten, und wie man diese Hilfsmittel anwendet. Damit werden die Daten, die in einem Landinformationssystem vorkommen, systematisch untersucht und dargestellt. Die Ergebnisse der Arbeit bilden die Grundlage für die Programme des MINI-LIS-Landinformationssystem-Prototyps des Institutes für Geodäsie und Photogrammetrie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich; die entwickelten Methoden sind also praktisch anwendbar.

Dem Vermessungsfachmann werden manche Erklärungen von Erkenntnissen aus der Informatik, insbesondere aus dem Datenbankbereich, etwas kurz gefasst erscheinen. Als Übersicht über allgemeine Probleme der EDV sei ihm [Bauknecht 80] oder, mit besonderer Betonung der Beziehung zur Vermessung [Conzett 81], empfohlen. Grundlegende Kenntnisse über Datenbanken vermittelt [Zehnder 81], worauf im folgenden laufend Bezug genommen wird; zusätzlich seien auch [Schlageter 77], [Wedekind 81] und [Härder 78] empfohlen.

Für den Informatiker dagegen mag es interessant sein zu sehen, wie das Datenbankkonzept auf ein konkretes Problem angewendet werden kann, ein konkretes Problem, das recht weit von den Datenbank-Schulbeispielen entfernt ist.

Insbesondere die Analyse der geometrischen Daten zeigt, dass auch zweidimensionale Beziehungen in einer Datenbank gespeichert werden können, zeigt aber auch, welche speziellen Arten von Konsistenzbedingungen erzwungen werden müssen und welche Methoden für den raumbezogenen Zugriff notwendig sind. Diese Ergebnisse sollten sich auch auf andere Anwendungen mit geometrischen Problemen übertragen lassen.

Da diese Arbeit grundsätzlich aus der Sicht des Anwenders geschrieben ist, wirft sie ein ungewohntes Licht auf die Methoden der Datenbank-Technik. Die Informatik-Literatur beschreibt die Bedeutung bestimmter Konzepte eher aus dem Blickwinkel des EDV-Spezialisten, währenddem hier die gleichen Konzepte vom Gesichtspunkt des Anwenders betrachtet werden, eine Sicht, die der theoretischen Informatik gelegentlich fehlt.

Dank

Sehr viele Personen und Institutionen haben in verschiedener Art und Weise diese Arbeit unterstützt und gefördert; allen möchte ich dafür danken. Auch wenn ich unmöglich alle hier namentlich erwähnen kann, so müssen doch einige wenige davon genannt werden:

Professor Conzett, der mir das interessante Arbeitsgebiet zugewiesen hat und mir gleichzeitig die für die Bearbeitung notwendige Freiheit und seine ständige Unterstützung gewährt hat;

Professor Zehnder und seine Assistenten, die in vielen Diskussionen mein Verständnis von Datenbanksystemen erweitert haben;

Professor Friedrich, der mir in mehreren Gesprächen wichtige Hinweise zu den rechtlichen Aspekten gegeben hat; meine Kollegen vom Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, die immer wieder wichtige Kritiker meiner noch unfertigen Ideen waren; Kantonsgeometer W. Messmer, der mir echte Grundbuchplandaten überlassen hat, die als unerlässliche Testdaten benützt werden konnten;

Frau Rothenberger, die die Übertragung dieser Arbeit aus meiner unleserlichen Handschrift durch unzählbare Zwischenstadien in eine hoffentlich präsentable Form besorgt hat.

Ich danke auch der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, die diese Arbeit als Forschungsprojekt förderte und mir erlaubte,

den DEC-10-Computer des Zentrums für interaktives Rechnen zu benützen.

Nicht zuletzt aber hat die andauernde Unterstützung durch meine Frau diese Arbeit erst ermöglicht.

Verweise

Im Text wird oft auf andere Stellen dieser Arbeit verwiesen. Diese Verweise geben in runden Klammern *Teil, Kapitel und Abschnitt* an: (vgl. 3.1.1) verweist auf

Teil 3, Kapitel 1, Abschnitt 1.

Literaturhinweise

Hinweise auf die im Literaturverzeichnis aufgeführten Publikationen erfolgen generell mit den Namen des *ersten Autors* und dem *Erscheinungsjahr* in eckigen Klammern:

[Zehnder 81] verweist auf

Zehnder, CA., Informationssysteme und Datenbanken, Verlag der Fachvereine, Zürich 1981.

Erster Teil

Landinformationssysteme

Kapitel 1.1 Das schweizerische Vermessungswesen

Kapitel 1.2 Begriff

«Landinformationssystem»

Kapitel 1.3 Die Begriffe «Wirklichkeit», «Modell», «Daten» und «Information»

Kapitel 1.4 Problemstellung dieser Arbeit

Der Hinweis auf einige aktuelle Probleme des schweizerischen Vermessungswesens begründet, warum eine Auseinandersetzung mit der heute international diskutierten Idee des Landinformationssystemes auch in der Schweiz sinnvoll und notwendig ist.

Bevor aber die hier zu bearbeitenden Fragen genauer umschrieben werden können, müssen Begriffe, wie «Informationssystem», «Landinformationssystem» u. a., geklärt werden.

Kapitel 1.1

Das Schweizerische Vermessungswesen

1.1.1 Aufgabe des Vermessungswesens

1.1.2 Amtliche Vermessung in der Schweiz

1.1.3 Wandel in den Methoden der Vermessung durch EDV

1.1.4 Voraussetzungen für die Wirtschaftlichkeit von EDV in der Vermessung

1.1.5 Raschere Durchführung der Vermessung dank EDV

1.1.6 Gesellschaftliche Bedeutung des EDV-Einsatzes in der Vermessung

Dieses Kapitel soll einen kurzen Hinweis auf aktuelle Probleme des schweizerischen Vermessungswesens geben, die unmittelbar Anlass zu dieser Arbeit waren. In der Vermessung wird heute die Verwendung der elektronischen Datenverarbeitung intensiv diskutiert: wie?, wo?,

wieviel? Diese Überlegungen haben schliesslich zum Konzept des Landinformationssystems geführt, das im nächsten Kapitel erläutert wird.

Wie viele Arbeiten in den technischen Wissenschaften, steht auch diese Arbeit im Spannungsfeld zwischen dem technisch Möglichen, den Forderungen der Benutzer und dem wirtschaftlich Tragbaren. Die ebenso wichtige Frage, ob und unter welchen Bedingungen dieses Mögliche auch wünschbar ist, ist einer wissenschaftlichen Bearbeitung noch kaum zugänglich und muss hier deshalb ausgeklammert werden. Der Hauptteil der Arbeit wird sich ausschliesslich den technischen Problemen widmen, weshalb zu Beginn einige Bemerkungen zu diesen nicht-technischen Aspekten angebracht sind.

1.1.1 Aufgabe des Vermessungswesens

Die Aufgabe der Vermessung ist, ganz allgemein gesprochen, die Bestimmung von Form und Lage von Gegenständen der Welt. Meistens handelt es sich um Form und Lage von Objekten, die unverrückbar mit der Erdoberfläche verbunden sind, wie z. B. Häuser, Strassen usw. oder auch um die Form der Erdoberfläche selber. Im folgenden werden wir uns auf die sog. niedere Geodäsie oder Stückvermessung beschränken und andere Aufgaben des Vermessungswesens, wie die Bestimmung der Form der Erde insgesamt — höhere Geodäsie — oder spezielle Vermessungen von Maschinen und Bauten — Ingenieurvermessung —, beiseite lassen.

1.1.2 Amtliche Vermessung in der Schweiz

Ohne eine genaue Abgrenzung zu diesem heute noch nicht vollständig geklärten Begriff [Matthias 80] beitragen zu wollen, sind am Anfang dieser Arbeit einige einleitende Bemerkungen am Platz.

Die Ausführung verschiedener Vermessungsarbeiten beruht auf gesetzlichen Vorschriften. Darunter fällt in erster Linie die Grundbuchvermessung, die nach bestimmten, genau vorgeschriebenen Verfahren u.a. die privatrechtlichen Eigentums Grenzen mit rechtlich bedeutsamer Wirkung aufnimmt.

Vorschriften sind hier aus verschiedenen Gründen notwendig:

— Privatrechtsgrenzen an Grundstücken binden nicht nur die beteiligten Parteien (obligatorische Wirkung), sondern auch Dritte; sie entfalten dingliche Wirkung. Es kann damit nicht dem Belieben der Parteien überlassen bleiben, nach welchen Methoden sie die Grenzen feststellen wollen, sondern es liegt im Interesse der Öffentlichkeit, dass diese Methoden und die daran zu richtenden Ansprüche — bis zur Bestimmung der zur Ausführung Ermächtigten — genau festgelegt werden. In dieser Hinsicht unterscheiden sich Vermessungsvorschriften nicht von andern Formvorschriften im Sachenrecht: es werden bestimmte *qualitative* Anforderungen an die Ergebnisse oder an die Ausführung gestellt.

— Vermessungswerke, z. B. die Parzellar- oder Grundbuchvermessung, dienen nicht nur den direkt beteiligten Eigentümern, sondern einem breiteren Interessentenkreis. Beispielsweise entstehen aus der Parzellarvermessung der Übersichtsplan und die Arealstatistik.

Solche Aufgaben können nur erfüllt werden, wenn die Objekte vollständig, d. h. flachendeckend, erhoben worden sind. Pläne, in denen nur einzelne Parzellen und Häuser dargestellt werden, andere aber fehlen, sind dafür nicht brauchbar.

Dieses Ziel wird durch Vorschriften sichergestellt, die angeben, welche Objekte von Amtes wegen zu erfassen und nachzuführen sind: *quantitativer* Aspekt der amtlichen Vermessung. Korrelat zu diesen Vorschriften ist eine teilweise Übernahme von Vermessungskosten durch die Öffentlichkeit

Zur Zeit sind Bestrebungen im Gange, die Gegenstände der amtlichen Vermessung neu zu umschreiben und den heutigen Anforderungen, insbesondere der Verwaltung, aber auch der Privaten, anzupassen. Diese Arbeiten sind Teil einer umfassenden «Reform der amtlichen Vermessung» der Schweiz [RAV 81]. Dort werden als Kennzeichen einer zukünftigen amtlichen Vermessung erwähnt:

— beruht auf rechtlicher Anordnung,
— zuverlässig, nachgeführt und überprüft,
— Ergebnisse öffentlich zugänglich,
und es wird vorgeschlagen, zwischen der amtlichen Vermessung im engeren Sinn und Erweiterungen zu unterscheiden.

1.1.3 Wandel in den Methoden der Vermessung durch EDV

Die traditionellen Methoden der Vermessung führen im allgemeinen auf eine verkleinerte, massstäblich-graphische Nachbildung der zu erfassenden Objekte. Ursprünglich wurden die gemessenen Winkel und Distanzen direkt massstäblich aufgetragen und die erfassten Elemente geometrisch konstruiert. Heute hat die digitale Berechnung von Koordinaten die graphische Konstruktion in vielen Fällen verdrängt; immer noch dient aber in den allermeisten Fällen der graphische Plan¹ zur Darstellung und Aufbewahrung der Ergebnisse [Matthias 80]. Die Notwendigkeit, ihre Ergebnisse graphisch darstellen und speichern zu müssen, schränkt heute die Anwendung der Vermessung in mehrfacher Hinsicht ein:

— nur was darstellbar ist, wird erfasst; die Auswahl der aufgenommenen Sachverhalte wird also vor allem von der Darstellbarkeit beeinflusst; der Anwendungszweck muss sich unterordnen.

— die Ergebnisse der Vermessung liegen in einer bestimmten graphischen Form vor; Anpassungen an spezielle Anwendungen sind nur mit erheblichem Aufwand möglich. Moderne EDV-Systeme erlauben, die Funktionen «Speichern der Ergebnisse» und «Graphische Präsentation» zu trennen. Statt die Ergebnisse der Vermessungsarbeit in Plänen zu speichern, können sie in digitaler Form aufbewahrt und bei Bedarf automatisch als Karten und Pläne gezeichnet werden.

Wenn in der Datenbank Angaben über Häuser und Strassen anstelle schwarzer Linien und Flächen auf Plänen gespeichert sind, kann neben der graphischen Darstellung auch eine inhaltsbezogene Auswertung für Listen, Statistiken usw., wie sie für die Verwaltung immer wieder erforderlich ist, erfolgen [Hossdorf 78].

1.1.4 Voraussetzungen für die Wirtschaftlichkeit von EDV in der Vermessung

Automatische Datenverarbeitung wird in der heutigen Praxis der Parzellarvermessung im allgemeinen fast nur zur Lösung einzelner Aufgaben eingesetzt, so für die geometrischen

¹ Im schweizerischen Sprachgebrauch wird, abweichend von den Regeln in den DIN-Normen, weiterhin der Begriff «Plan» für Karten grossen Massstabes verwendet (meist ca. 1:10000 und grösser).

Berechnungen, häufig auch für die Führung der Koordinatenverzeichnisse und der Register. Die Nachführung der verschiedenen Pläne geschieht dagegen fast ausschliesslich manuell.

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass der EDV-Einsatz in dieser Art nur knapp wirtschaftlicher ist als die traditionellen Methoden. Besonders arbeitsaufwendig sind dabei die Übergänge zwischen verschiedenen Systemteilen [Kasper 81].

Deutliche Verbesserungen sind erst zu erwarten, wenn die einzelnen Verarbeitungsschritte zu einem Ganzen integriert werden können, wobei die permanent gespeicherten Daten — die Datenbank — eine zentrale Rolle spielen. Nachführungskosten lassen sich vermindern, wenn alle Vermessungsdaten eines Gebietes gemeinsam gespeichert und nachgeführt werden können und jeder Benützer von diesem nachgeführten Datenbestand die benötigten Zeichnungen oder andere Auswertungen erstellt

Schliesslich lassen sich die hohen Kosten für die Erfassung und Nachführung der Vermessungsdaten besser rechtfertigen, wenn die gleichen Daten für verschiedenste Anwendungen, ohne neue Aufnahmekosten, verwendet werden können. Eine Integration der Vermessungsdaten mit anderen verwandten Daten, wie sie in dieser Arbeit befürwortet wird, drängt sich auf.

1.1.5 Raschere Durchführung der Vermessung dank EDV

Nicht nur Wirtschaftlichkeit ist wichtig. Im modernen Vermessungswesen spielt es eine grosse Rolle, dass die Arbeiten *fristgerecht durchgeführt* werden. Trotz grosser Anstrengungen ist bis heute die Grundbuchvermessung noch nicht für das ganze Gebiet der Eidgenossenschaft durchgeführt. Die automatische Datenverarbeitung kann einen wesentlichen Beitrag zur baldigen Vollendung dieses Werkes leisten. Vor allem wird aber die Nachführung verbessert, indem jederzeit ein nachgeführter Plan, der alle erfassten Änderungen berücksichtigt, herausgegeben werden kann. Es kann somit erwartet werden, dass einer von Benützern am häufigsten geäusserten Kritik am Vermessungswesen — veraltete Pläne und zu späte Nachführung — wirksam begegnet werden kann [SVVK 70], [Matthias 76], [RAV 78].

1.1.6 Gesellschaftliche Bedeutung des EDV-Einsatzes in der Vermessung

Der Einsatz von EDV darf heute nicht ausschliesslich nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten überdacht werden, sondern gesellschaftliche Aspekte müssen ebenfalls berücksichtigt werden. Diese Fragen werden aber im Rahmen dieser Arbeit bewusst ausgeklammert, werden sie doch zur Zeit am Institut der Géodésie et Mensuration an der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne bearbeitet.

Ohne diesen Untersuchungen vorgreifen zu wollen, seien dennoch ein paar Bemerkungen erlaubt. Nach Meinung des Verfassers bietet die automatische Datenverarbeitung im Vermessungswesen wenig Anlass zu stichhaltiger Kritik:

— Es handelt sich nicht um neue, sondern um die Verbesserung bestehender Systeme; die Angst vor zusätzlichen Informationssystemen mit verstärkter Überwachung des Bürgers ist damit unbegründet.

— Die erfassten Daten betreffen nur zum kleinsten Teil Personen, sondern es handelt sich grösstenteils um Informationen, die offensichtlich und jederzeit zugänglich sind (Häuser, Strassen usw.); die Privatsphäre des Bürgers wird nicht berührt.

— Die schrittweise Umstellung wird nur einen Teil der Aufgaben weniger Spezialisten betreffen, die sich einer solchen graduellen Veränderung ihrer Arbeit durchaus anzupassen vermögen — das Gespenst der arbeitslosen Vermessungsfachleute droht nicht. Hingegen ist bereits deutlich sichtbar [Hidber 72], [Eichhorn 79], dass bestimmte Dienstleistungen des Vermessungswesens heute gewünscht werden, die nur durch verstärkte Anwendung von EDV wirtschaftlich angeboten werden können. Bemühen sich die Vermessungsfachleute nicht aktiv um diese Erweiterung ihres Tätigkeitsfeldes, so werden diese interessanten Aufgaben von andern erfüllt.

Kapitel 1.2

Begriff «Landinformationssystem»

1.2.1 Definition

1.2.2 Herkunft des Begriffes

1.2.3 Zweck eines Landinformationssystems

1.2.4 Teile eines Landinformationssystems

1.2.5 Hinweise zur weiteren Unterteilung des Begriffes «Landinformationssystem»

In diesem Kapitel wird der Begriff «Landinformationssystem» eingeführt, wie er kürzlich von der Internationalen Vereinigung der Vermessungsingenieure definiert worden und es werden die wichtigsten Merkmale eines Landinformationssystems festgehalten. Hinweise zur Abgrenzung von Landinformationssystemen gegenüber andern Informationssystemen führen zu dem dieser Arbeit zugrundeliegenden, etwas eingeschränkten Begriff «Landinformationssystem».

1.2.1 Definition

Die Fédération Internationale des Géomètres¹ hat 1981 an ihrem internationalen Kongress in Montreux in einer Resolution folgende Definition eines Landinformationssystems festgelegt: «Ein Landinformationssystem ist ein Instrument, um Entscheidungen in Recht, Verwaltung und Wirtschaft zu treffen, sowie ein Hilfsmittel für Planung und Entwicklung.

Es besteht einerseits aus einer Datensammlung einer bestimmten Region, welche sich auf Grund und Boden bezieht, und andererseits aus Verfahren und Methoden für die systematische Erfassung, Aktualisierung, Verarbeitung, und Verbreitung dieser Daten.

Die Grundlage eines Landinformationssystems bildet ein einheitliches, räumliches Bezugssystem für die gespeicherten Daten, welche auch eine Verknüpfung der im System gespeicherten Daten mit andern bodenbezogenen Daten erleichtert» [FIG 81]

1.2.2 Herkunft des Begriffes

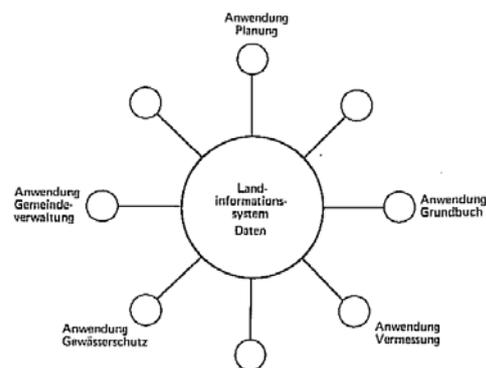
In der deutschsprachigen geodätischen Literatur ist der Begriff Landinformationssystem durch das Symposium 1978 in Darmstadt eingeführt worden [Eichhorn 79]. Der Begriff wurde rasch angenommen und in der Zwischenzeit ist eine grosse Zahl von Publikationen zu diesem Thema erschienen. Der ältere Begriff «Mehrzweckkataster», der ähnliches bezeichnete, wurde dadurch etwas aus dem geodätischen Sprachgebrauch verdrängt.

¹ Internationale Vereinigung der Vermessungsingenieure, abgekürzt FIG

Der Begriff selber stammt vom amerikanischen Begriff «land information system». Dies erklärt die spezielle, dem Deutschen aber nicht fremde Verwendung des Wortes «Land»; es ist damit nicht etwa Land als politische Einheit gemeint — weshalb es auch falsch ist, von einem Landesinformationssystem zu sprechen — sondern die Bedeutung ist ähnlich wie in Landschaft oder Landwirtschaft, und meint «Grund und Boden».

1.2.3 Zweck eines Landinformationssystems

Ein Landinformationssystem unterstützt nach der angegebenen Definition Verwaltung und Wirtschaft sowohl für administrative als auch für planende Aufgaben. Das Landinformationssystem soll erlauben, bestimmte Angaben einmal zu erfassen und nachher für verschiedenste Anwendungen zur Verfügung zu stellen.



Figur 1-1 Ein Landinformationssystem client verschiedenen Anwendungen

Gegenüber den bestehenden Systemen werden davon wesentliche Einsparungen bei der Datenerfassung und -nachführung erwartet. Die gleichen Daten werden heute in verschiedenen, voneinander getrennten Datensammlungen verwaltet und nachgeführt, was u. a. zu folgenden Unzulänglichkeiten führt:

- hoher Aufwand für mehrfache Nachführung,
- Differenzen zwischen den Angaben in verschiedenen Datensammlungen,
- komplizierte Verfahren zur Mitteilung von Änderungen von einer Stelle zur andern.

Das Konzept «Landinformationssystem» ist also die auf das Vermessungswesen zugeschnittene Anwendung der generellen, auch in anderen Bereichen der Datenverarbeitung verwendeten Idee, Datenbestände, die mehreren Anwen-

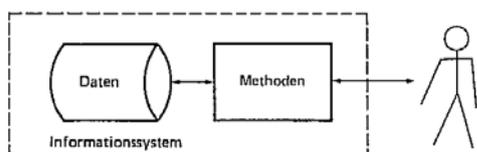
dungen dienen, koordiniert und zentral zu verwalten.

Im Vordergrund der Anstrengungen zur Einführung von Landinformationssystemen stehen heute etwa die Daten der folgenden Anwendungsbereiche:

- Nachweis der privatrechtlichen Rechtsverhältnisse an Grund und Boden (Rechtskataster),
- Nachweis öffentlichrechtlicher Beschränkungen des Eigentums an Grund und Boden [Ämissegger 79],
- Erfassung der Nutzung von Grund und Boden, sowohl als Unterstützung der Verwaltungstätigkeit als auch in generalisierter Form für Planungsaufgaben aller Stufen.

1.2.4 Teile eines Landinformationssystems

Gemäss dem zweiten Abschnitt der FIG-Definition besteht ein Landinformationssystem aus Daten und Methoden zur Verarbeitung dieser Daten (Figur 1-2).



Figur1-2 Gliederung eines Informationssystems

Diese Zweiteilung entspricht der heute in der Informatik üblichen Betrachtungsweise, die Informationssysteme als Einheit von Daten und der für die Auswertung benötigten Methoden versteht.

«Bestehen die von den Elementen eines Systems durchgeführten Tätigkeiten in der Aufnahme, Verarbeitung und Weitergabe von Informationen, so nennen wir dieses System ein Informationssystem [Lockemann 78].» Diese generelle Definition sagt nichts über die für die Informationsverarbeitung benutzten Hilfsmittel. Im allgemeinen wird aber der Begriff Informationssystem nur gebraucht, wenn die Verarbeitung mit elektronischen Datenverarbeitungsanlagen erfolgt; präziser müsste dann von EDV-Informationssystemen gesprochen werden. Gleiches gilt auch für Landinformationssysteme, deren Aufgaben wohl nur in Ausnahmefällen (aber prinzipiell doch denkbar) ohne Hilfsmittel der elektronischen Datenverarbeitung erfüllt werden können. Der Begriff Landinformationssystem steht damit meist synonym für den präziseren, selten benutzten Begriff «EDV-Landinformationssystem».

Schliesslich macht die Definition in ihrem zweiten Abschnitt sehr deutlich darauf aufmerksam, dass

eine regellose Anhäufung von Daten ohne Methoden für Zugriff und Auswertung nicht als Landinformationssystem angesprochen werden kann. Erst die zugehörigen Methoden, meist Programme, die aus den Daten die vom Benutzer benötigten Informationen extrahieren und in einer ihm verständlichen Form präsentieren, machen aus einem Datenhaufen ein verwendbares Informationssystem.

Daten und Operationen eines Landinformationssystems

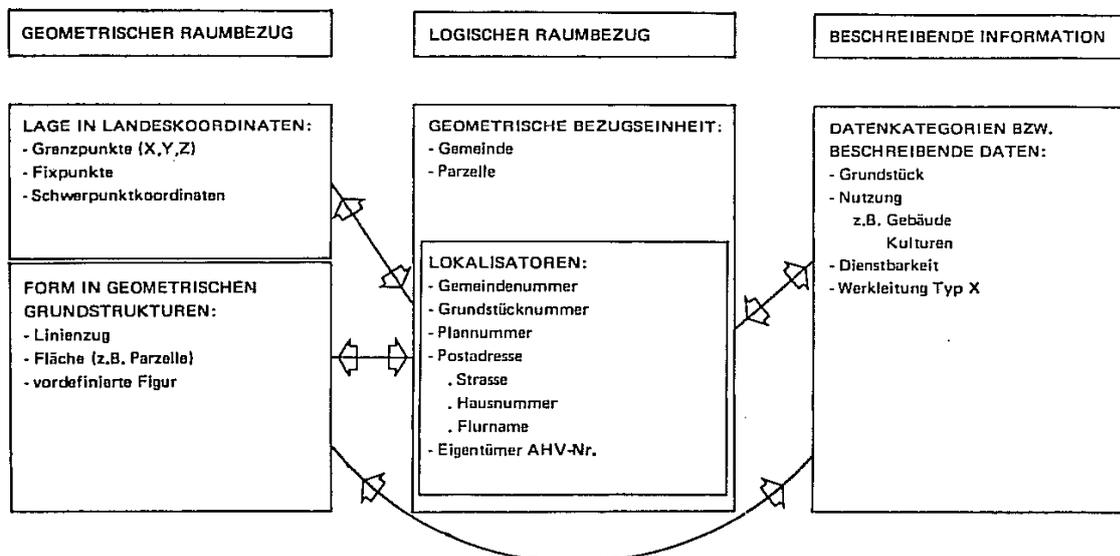
Die in einem Landinformationssystem gespeicherten Daten zeichnen sich durch ihren *Raumbezug* aus.

Die erfassten Sachverhalte enthalten immer einen konkreten Hinweis auf einen Ort der Erdoberfläche, an dem sie gelten.¹ Ein Landinformationssystem unterscheidet sich von anderen Informationssystemen, die möglicherweise ebenfalls Daten mit einem Bezug zu einem Ort der Erdoberfläche enthalten (z. B. Postadressen von Personen), dadurch, dass bei jenen dieser Bezug nicht zentrales Verknüpfungselement aller Daten ist.

Der Raumbezug der Daten in einem Landinformationssystem kann direkt sein, indem beispielsweise ein Punkt, eine Fläche oder ein Körper durch Koordinaten festgelegt wird (geometrischer Raumbezug). Der Raumbezug kann aber auch indirekt² sein, indem er aus einem Verweis auf ein anderes, räumlich bereits festgelegtes Objekt (logischer Raumbezug) besteht. Die folgende Skizze zeigt diesen Zusammenhang (Figur 1-3):

¹ [Dekker 81] erklärt als Landinformation (holländisch vast-goedinformatie) alle nützlichen Informationen über Objekte, die ihre Lage im Raum nicht ändern können

² In [Eloranta 82] wird dies als deferred geometry (deferred engl. aufgeschoben, zurückgestellt) bezeichnet.



Figur 1-3 Drei verschiedene Arten von Daten in einem Landinformationssystem [RAV 81]

Ziel eines Landinformationssystems ist, alle für dessen Benutzer wichtigen Daten einer Region vollständig und fortlaufend nachgeführt zu erfassen. Die Ausdehnung der Region kann je nach Anwendungsbereich unterschiedlich sein; typisch für ein Landinformationssystem ist aber die Beschränkung auf Daten von Objekten innerhalb gewisser räumlicher Grenzen, wobei innerhalb dieser Grenzen im Rahmen der Zweckbestimmung Vollständigkeit angestrebt wird.

Bei den folgenden Überlegungen wird im allgemeinen als Gebiet eines Landinformationssystems eine grössere Schweizer Gemeinde¹ angenommen. Dies hat beispielhaften Charakter, denn ein Landinformationssystem kann genauso gut eine Grossstadt oder eine grössere Region (z. B. einen Schweizer Kanton²) betreffen.

Typisch für ein Landinformationssystem sind Operationen, die den allen Daten zugeordneten Raumbezug ausnützen. Das sind einerseits Operationen zur graphischen Darstellung der gespeicherten Daten in Karten und Plänen, aber auch spezielle Auswerte-Operationen, die sich auf

geometrische Eigenschaften beziehen, wie Berechnung eines Flächeninhaltes o. a.

1.2.5 Hinweise zur weiteren Unterteilung des Begriffes «Landinformationssystem»

Innerhalb der verschiedenen Informationssysteme, die Daten mit ihrem Bezug zu einem Ort der Erdoberfläche verarbeiten, sind weitere Unterteilungen notwendig.

Ein wichtiger Unterschied besteht zwischen Systemen, die die Daten in einer detaillierten Form und mit einem exakten Bezug zum Raum festhalten, und solchen, die statistische Aussagen mit generalisiertem Bezug zur Erdoberfläche enthalten [Frank 80]. Die ersten Systeme werden im allgemeinen erstellt, indem direkt die entsprechenden Sachverhalte (Primärdaten [Hake 74]) erhoben werden (z. B. durch Vermessungsarbeiten im Felde), wogegen die zweiten typischerweise ihre Daten durch Zusammenfassung von Primärdaten gewinnen. Die Operationen in diesen beiden Typen von Systemen sind sehr unterschiedlich. Aber auch die Anwendung - Verwaltungsvollzug einerseits, Planung andererseits - und die gestellten Ansprüche sind unterschiedlich: die exakten Systeme für die Verwaltung müssen ständig -innerhalb von wenigen Tagen - nachgeführt werden, wogegen generalisierte Systeme für Planungsaufgaben ohne weiteres mehrere Monate hinter den Veränderungen der Wirklichkeit nachhinken dürfen und von Zeit zu Zeit nachgeführt werden können.

¹ Grösse: um ca. 10 000 Einwohner, mit ca. 2000 ha Fläche

² Grösse: 13 000 bis 1,2 Mio. Einwohner, mit 37 km² bis 7200 km² Fläche

Unter diesen Umständen ist es angebracht, zwei verschiedene Systeme zu konzipieren und zwischen diesen einen regelmässigen Datenaustausch zur periodischen Nachführung des generalisierten Systems vorzusehen.

Diese Arbeit befasst sich vorwiegend mit Landinformationssystemen, die detaillierte Sachverhalte mit ihrem exakten Bezug zum Raum enthalten und die vor allem im Verwaltungsvollzug angewendet werden. In Ermangelung eines besser eingeführten Begriffes wird der Begriff Landinformationssystem im folgenden immer mit dieser Einschränkung verstanden.

Der am ORL-Institut der ETH Zürich aufgebaute und nun vom Bundesamt für Statistik betreute Informationsraster (Landesplanerische Datenbank) [Hidber 72] ist ein Beispiel für ein System mit generalisierten Daten. Die Datensammlung erfolgte ursprünglich durch Auswertung der Landeskarten 1:25000 oder 1:50000 und soll neu nach einem statistischen Verfahren zur Auswertung von Luftbildern erfolgen (vgl. 2.1.7).

Kapitel 1.3

Die Begriffe «Wirklichkeit», «Modell», «Daten» und «Information»

1.3.1 Wirklichkeit

1.3.2 Wahrnehmung — Modell — Information

1.3.3 Der Begriff «Daten»

1.3.4 Informationssystem

1.3.5 Datenintegrität

Als Grundlage wird in diesem Kapitel das Verhältnis zwischen Wirklichkeit und Informationssystem kurz erörtert.

1.3.1 Wirklichkeit

Wir setzen eine «objektive», unabhängig vom menschlichen Beobachter existierende Welt voraus. Diese Auffassung wird zwar nicht von allen Philosophen geteilt (Berkley, Schopenhauer); es ist aber sinnlos, über Informationssysteme zu diskutieren, ohne eine objektive Realität ausserhalb des menschlichen Beobachters anzunehmen.

1.3.2 Wahrnehmung — Modell — Information

Der Mensch kann durch seine Sinne gewisse Eigenschaften der Realität wahrnehmen. Er bildet daraus ein gedankliches Modell der Realität. Dieser

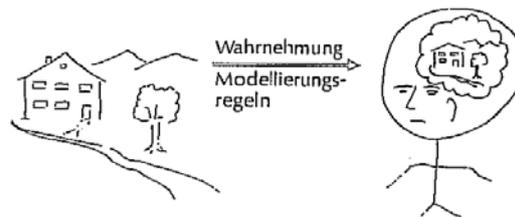
Gegensatz war schon den alten Griechen bekannt (vgl. Höhlengleichnis bei Platon).

Die Wahrnehmung ist abhängig von verschiedenen subjektiven Eigenschaften der betrachtenden Menschen und ist im allgemeinen nicht objektiv, d.h. verschiedene Personen kommen bei Wahrnehmung der gleichen Teile der Realität nicht immer zu gleichen Feststellungen.

Das Ergebnis der Wahrnehmung ist eine Vorstellung, ein Bild der Wirklichkeit, hier als gedankliches Modell bezeichnet. Jeder Mensch bildet sich ständig solche Modelle seiner Umgebung für die unterschiedlichsten Tätigkeiten. Diese Modelle können so einfach sein, wie die für den Gang vom Esszimmer in die Küche notwendige Vorstellung über den Grundriss der eigenen Wohnung, können aber auch viel höhere Abstraktionsstufen erreichen.

Solche subjektive Modelle sind von Mensch zu Mensch verschieden, was die Zusammenarbeit mehrerer Menschen erschwert. Es wird deshalb angestrebt, die der Bildung der Modelle zugrundeliegenden *Modellierungskonzepte* [Lockemann 78] zu vereinfachen und zu vereinheitlichen. Nicht alle Aspekte eines Sachverhaltes der Realität sind für eine bestimmte Tätigkeit erheblich, sondern das Modell, das für diese Tätigkeit verwendet wird, kann sich auf wenige wesentliche Aspekte beschränken.

Die Einübung von Modellierungsregeln für bestimmte Tätigkeiten gehört zu den wichtigsten Funktionen der Ausbildung.



Figur-4 Wirklichkeit und Vorstellung

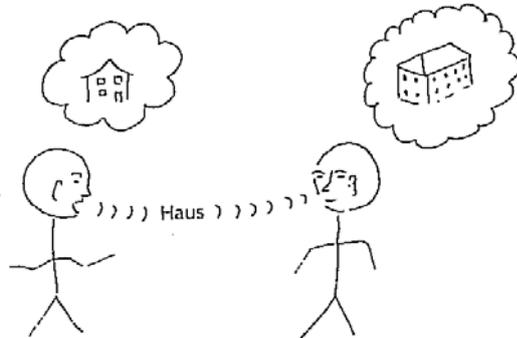
Der Begriff des gedanklichen Modells ist eng verknüpft mit dem Begriff der Information, für den verschiedene Definitionen vorgeschlagen wurden. In der Kommunikationstheorie wird unter Information im allgemeinen «Beseitigung von Ungewissheit» verstanden [Shannon 49].

Empfängt ein Mensch von den Objekten der Realität direkt erzeugte Signale (rote Lichtwellen von einer roten Decke) oder nimmt er Mitteilungen über die Objekte wahr, die auf

Feststellungen anderer Menschen beruhen (der Text «die Decke ist rot»), so führt das bei ihm zu einem ähnlichen gedanklichen Modell. Damit kann die Verallgemeinerung des Informationsbegriffes über den engen Rahmen der Nachrichtentechnik hinaus begründet werden. Diese Überlegungen stimmen mit [Hartel 82] überein, welcher Information als das gedankliche Modell, das aus dem Wahrnehmungsprozess entsteht, definiert.

1.3.3 Der Begriff «Daten»

Damit Menschen ihre Vorstellungen über die Realität austauschen können, müssen sie die gedanklichen Modelle, die in ihren Köpfen gefangen sind, in Signale umsetzen, die geeignet sind, beim Empfänger gleiche (oder zumindest ähnliche) Vorstellungen zu erzeugen.



Figur 1-5 Austausch von Vorstellungen zwischen Menschen

Verschiedene physikalische Phänomene kommen zur Darstellung von Signalen verwendet werden; am häufigsten verwendet werden Schallschwingungen (Sprache) und graphische Zeichen (Schrift und Zeichnungen). Die Bedeutung dieser Signale oder Zeichen¹ wird als *Semantik* der Zeichen bezeichnet. Sie beruht auf einer Übereinkunft der an der Kommunikation Beteiligten, die auch als *Darstellungskonzept* [Lockemann 78] angesprochen wird. Kommunikation ist nur möglich, wenn Sender und Empfänger übereinstimmende Darstellungskonzepte zur Ver- und Entschlüsselung ihrer Modelle anwenden.

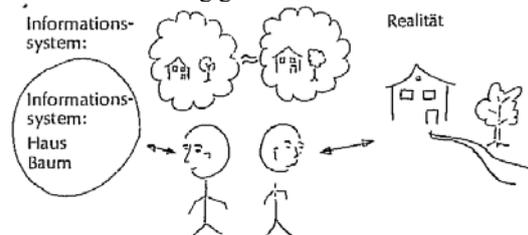
Generell könnte man alle physikalischen Phänomene, die Bedeutung im Sinne eines Darstellungskonzeptes tragen, alle Zeichen also, als *Daten* ansprechen. Üblicherweise wird der Be-

¹ Der feinere Unterschied zwischen Signal und Zeichen ist für uns hier nicht wesentlich [Bense 73].

griff aber eingeschränkt auf solche Zeichen, die der automatischen Datenverarbeitung zugänglich sind.

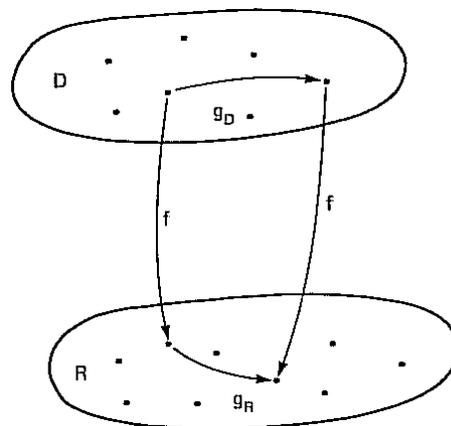
1.3.4 Informationssystem

Nicht immer kann die für eine Tätigkeit notwendige Information durch direkte Betrachtung der Realität gewonnen werden. Dann kann ein Informationssystem helfen, das die entsprechenden Daten speichert. Einem Informationssystem liegt die Annahme zugrunde, dass der Benutzer zu ähnlichen Vorstellungen über die Wirklichkeit gelangt, unabhängig davon, ob er das Informationssystem benützt oder die entsprechenden Teile der Wirklichkeit betrachtet. Die durch das Informationssystem gewonnenen Vorstellungen müssen zumindest für die geplante Tätigkeit und die zugehörigen Modellierungskonzepte mit den allenfalls durch direkte Betrachtung gewonnenen übereinstimmen.



Figur 1-6 Gleiche Vorstellung, ob Informationssystem benützt oder direkte Betrachtung der Realität

Dies kann mit dem mathematischen Begriff «Homomorphismus» umschrieben werden. Gegeben sind zwei Mengen (D und R) mit entsprechenden Operationen g_D in D und g_R in R und einer Abbildung f von D in R. f heisst Homomorphismus, wenn für alle $d_1, d_2 \in D$ gilt $f(g_D(d_1, d_2)) = g_R(f(d_1), f(d_2))$.



Figur 1-7 Homomorphismus

Als einfaches Beispiel zur Veranschaulichung helfe:

D sind die Daten eines Informationssystems über Parzellen und Häuser.

R sind die Parzellen und Häuser der Realität. Der Operation g entspreche der Entscheid, ob ein bestimmtes Haus auf einer bestimmten Parzelle steht. Die Interpretation der Daten des Informationssystems bildet einen Homomorphismus, weil wir selbstverständlich fordern, dass wir zum gleichen Schluss kommen, wenn wir fragen, ob Haus A auf Parzelle X liegt, gleichgültig ob wir auf die Daten des Informationssystems abstellen oder die Frage durch einen Augenschein der Parzelle X beantworten.

1.3.5 Datenintegrität

Damit die in einem Informationssystem gespeicherten Daten ständig ein getreues Bild der Realität bieten, müssen verschiedene Vorkehrungen getroffen werden.

Die für Modellierung und Darstellung angewendeten Methoden müssen die Sachverhalte mit der geforderten Genauigkeit beschreiben (Datenqualität) (vgl. 1.1.2).

Allgemeinere Kenntnisse über Gesetzmässigkeiten der Realität (zum Beispiel physikalische Gesetze) werden ausgenützt, um die Daten zu überprüfen (Datenkonsistenz oder semantische Integrität) (vgl. 1.4.1).

Schliesslich müssen die einmal erfassten Daten vor Verfälschung innerhalb des Informationssystems gesichert (Datensicherheit) und die missbräuchliche Verwendung der Daten verhindert (Datenschutz) werden [Frank 81a], [Frank 81b].

Diese Arbeit wird sich ausschliesslich mit dem Aspekt der Datenkonsistenz beschäftigen, der besonders eng mit der Datenstruktur verknüpft ist.

Kapitel 1.4

Problemstellung dieser Arbeit

1.4.1 Datenstrukturen und Datenkonsistenz 1.4.2

Betrachtete Anwendungsbereiche eines Landinformationssystems

1.4.3 Ziel der Arbeit

1.4.4 Gliederung eines

Landinformationssystem Programms in Schichten

1.4.5 Anwendung der Ergebnisse

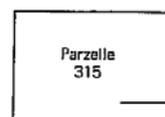
Diese Arbeit will Regeln für die Erhaltung der Konsistenz der in einem Landinformationssy-

stem gespeicherten Daten aufstellen, wobei die Beschreibung der Datenstruktur aufs engste mit der Aufstellung solcher Konsistenzbedingungen verknüpft ist. Aus praktischen Gründen muss die Untersuchung auf wenige zentrale Anwendungsbereiche eines Landinformationssystems beschränkt werden; über verschiedene andere Probleme, die im Zusammenhang mit der Erstellung eines Landinformationssystem-Prototypen bearbeitet wurden, kann leider nicht weiter berichtet werden.

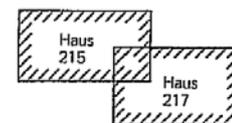
1.4.1 Datenstrukturen und Datenkonsistenz

Die vielfältigen Begriffe, die wir zur Beschreibung der Realität verwenden, stehen in komplexen Beziehungen zueinander. Man versucht, die Bedeutung der Begriffe (Semantik) durch Darstellung der Beziehungen in semantischen Netzen zu erfassen. Einen Überblick gibt [Findler 79]. Für die praktische Anwendung muss die Vielfalt der Begriffe auf wenige, für die Anwendung wichtige Klassen beschränkt werden. Dann lassen sich auch die Beziehungen zwischen diesen Klassen auf einfache, standardisierte Art beschreiben (vgl. Modellierungskonzept 1.3.2).

Die Beziehungen der Daten untereinander müssen, damit diese Daten verwendbar bleiben, ständig bestimmten Bedingungen genügen, die sich aus der Bedeutung der Daten ergeben. Es ist beispielsweise nicht zulässig, dass Parzellen durch Linienzüge beschrieben werden, die nicht in sich geschlossen sind (Figur 1-8)



Figur 1-8

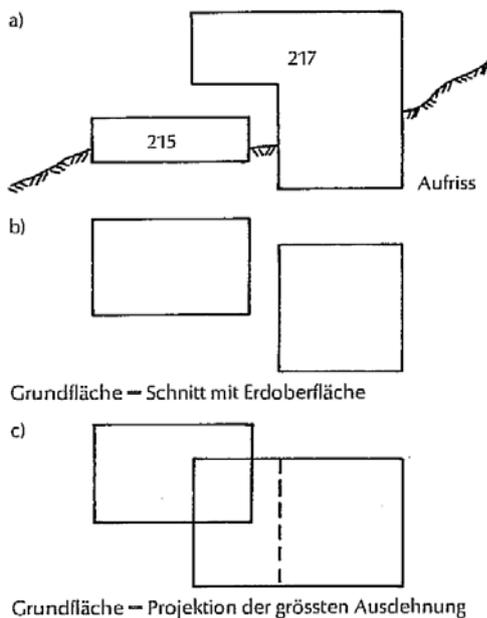


Figur 1-9

oder dass sich die Grundrissflächen von Häusern überlappen (Figur 1-9). Nicht nur sind solche Daten offensichtlich falsch, sie führen auch zu schwerwiegenden Fehlern bei der Auswertung. Wie soll ein Programm die Fläche der dargestellten Parzelle 315 berechnen? Oder was ist die Summe der Hausgrundflächen 215 und 217?

Diese Aussagen sind nicht etwa nur EDV-technische Festlegungen, sondern vielmehr auch Hinweise darauf, was wir z. B. unter einem Haus verstehen wollen. Eine Regel, die das Überlappen von Hausgrundflächen unter bestimmten

Bedingungen erlauben ist zwar denkbar; sie würde aber darauf hinweisen, dass wir Hausgrundfläche anders als üblich definiert haben. Im Fall «überlappen verboten» ist die Hausgrundfläche beispielsweise durch die Aussenmauern auf der Höhe Erdoberfläche erklärt (Figur 1-10b), ein Überlappen ist dann definitionsgemäss ausgeschlossen. Die Hausgrundfläche könnte aber auch als maximale Ausdehnung der senkrechten Projektion eines Gebäudes definiert werden (Figur 1-10c); dann wäre das Überlappen von zwei Gebäuden, deren oberirdische Teile sich in unterschiedlicher Höhe ausbreiten, wohl möglich.



Figur 110 Verschiedene Interpretationen von «Hausgrundrisse»

Wir beschreiben solche Einschränkungen der Beziehungen durch Bedingungen, hier Konsistenzbedingungen genannt¹. Also durch Regeln, wie «Parzellen werden von geschlossenen Linienzügen begrenzt» oder «Hausgrundflächen überlappen sich nicht».

Datenstruktur und Konsistenzbedingungen sind Festlegungen über die zur Modellierung der Realität verwendeten Begriffe. Die in dieser Arbeit

¹ Der Begriff «konsistent» wird hier ähnlich wie in der formalen Logik verwendet, wo man ein System von Aussagen als konsistent bezeichnet, wenn sich daraus keine Widersprüche ableiten lassen. «Semantische Integritätsbedingungen» wird etwa als Synonym für Konsistenzbedingungen verwendet und weist auf die enge Beziehung zur Bedeutung der Daten hin.

dargestellte Struktur spiegelt damit die Auffassung des Verfassers über vermessungstechnische Begriffe wieder. Möglicherweise werden gewisse Begriffe nicht überall in der Schweiz gleich verwendet, Anpassungen sind dann allenfalls notwendig.

Probleme entstehen dann, wenn die an einem Landinformationssystem Beteiligten — Programmierer und verschiedene Benutzer — die gleichen Begriffe mit unterschiedlicher Bedeutung verwenden, ohne dessen inne zu werden. Ja, es kann sogar vorkommen, dass der gleiche Benutzer in verschiedenem Zusammenhang den gleichen Begriff selber mit unterschiedlicher Bedeutung verwendet [BOCO 80]. Die Beschreibung der Datenstruktur und die Konsistenzbedingungen sind geeignet, solche Differenzen bei der Erstellung eines Landinformationssystems aufzudecken.

Sobald Daten von mehreren Anwendern und für mehrere Anwendungen verwendet werden sollen, gewinnen die Anforderungen der Datenintegrität (vgl. 1.3.5) besondere Bedeutung. Da Landinformationssysteme für solche vielfältige Verwendungen angelegt werden, muss der Datenintegrität, besonders der Datenkonsistenz, höchste Bedeutung beigemessen werden (vgl. 5.13).

1.4.2 Betrachtete Anwendungsbereiche eines Landinformationssystems

Die vorliegende Arbeit beschränkt die betrachteten Anwendungsbereiche eines Landinformationssystems grob auf drei Bereiche:

- die Vermessungsdaten, die die geometrisch-räumlichen Sachverhalte beschreiben (vgl. 2.1)
- die Daten zur Beschreibung der Rechtsverhältnisse an Grundstücken (vgl. 2.2)
- die raumbezogenen Daten, die für die Tätigkeit der Gemeindeverwaltung erforderlich sind (vgl. Kapitel 2.3).

Damit untersuchen wir an verschiedenen möglichen Anwendungen eines Landinformationssystems (vgl. 1.2.3) die Struktur der im Vordergrund stehenden, heute bereits weitgehend erfassten Daten.

Man darf erwarten, dass damit die wichtigsten Datenstrukturen in einem Landinformationssystem untersucht werden und sich diese Strukturen später ohne Schwierigkeiten auf weitere, sich in Zukunft als notwendig erweisende Ergänzungen übertragen lassen.

1.4.3 Ziel der Arbeit

Für die in einem Landinformationssystem zu verarbeitenden raumbezogenen Daten sind die typischen Strukturbegriffe zu erfassen. Dazu *müssen einerseits die Elemente, die miteinander verknüpft werden sollen, und andererseits die Beziehungen zwischen diesen Elementen analysiert werden*. Die Beziehungen zwischen den Elementen können meist durch Bedingungen, sogenannte Konsistenzbedingungen, charakterisiert werden.

Die für die Beschreibung der geometrischen Sachverhalte notwendigen Datenstrukturen, Konsistenzbedingungen und Algorithmen stehen im Zentrum der Aufgabe.

Die in einem Landinformationssystem auftretenden Objekte (vgl. 2. Teil) können in drei Richtungen strukturiert werden (vgl. [Chrisman 78]):

- Topologische Strukturen, die einfache geometrische Sachverhalte, z. B. «ein Haus liegt innerhalb einer Parzelle», beschreiben (vgl. 3. und 4. Teil).
- Semantische Strukturen, die sich aus der Bedeutung der Objekte ergeben, z. B. die Beziehung Parzelle—Eigentümer¹ (vgl. 5. Teil).
- Räumliche Strukturen, die sich aus der Lage der Objekte im Raum ergeben, z. B. «ein Baum steht in der Nähe eines Hauses» (vgl. 6. Teil).

Dabei geht es vorwiegend um die abstrakte Formulierung entsprechender Regeln und weniger um die Frage, wie diese in einem Programmpaket implementiert werden. Verschiedene Datenbanksysteme bieten unterschiedliche Verfahren an, deren Vor- und Nachteile in der Datenbank-Literatur diskutiert werden [Wedekind 81], [Zehnder 81].

Die zusätzlichen, nur beschreibenden — also nicht raumbezogenen — Angaben (vgl. 1.2.4) bieten keine für Landinformationssysteme spezifischen Probleme und lassen sich mit den für den Datenbank-Entwurf üblichen Methoden ohne weiteres bearbeiten. Dementsprechend muss bei diesen weniger auf Vollständigkeit geachtet werden.

Gegenüber anderen Arbeiten mit ähnlichen Zielen wird hier eine systematische Untersuchung der drei grundlegenden Aspekte, nämlich Topologie, Semantik und Nachbarschaft, unternommen und eine Möglichkeit zur Synthese von Datenbankmethoden zur Behandlung der topologischen, semantischen und der

¹ Topologische Strukturen können auch als spezielle semantische Strukturen aufgefasst werden; darum werden die Ergebnisse des 3. und 4. Teils auch im 5. Teil weiterverwendet

Nachbarschaftsbeziehungen angegeben.

1.4.4 Gliederung eines Landinformationssystem-Programms in Schichten

Ein Landinformationssystem-Programm erreicht einen Umfang, der eine Gliederung erforderlich macht. Im modernen Software-Engineering [Kimm 79] fasst man dabei Routinen, die Operationen an ähnlichen Objekten einer bestimmten Abstraktionsstufe ausführen, zu Schichten zusammen. Komplexere Aufgaben der höheren Schichten können aus den einfacheren Funktionen der tieferen Schichten zusammengesetzt werden.

Für ein Landinformationssystem ergeben sich etwa die in Figur 1-11 angegebenen Schichten. Jede Schicht übernimmt spezifische Aufgaben, zu denen auch die Sicherung von Konsistenzbedingungen gehören.

Indem eine Schicht bestimmte abstrakte Konzepte einschliesst und programmässig realisiert, kann sie auch die zugehörigen Konsistenzbedingungen garantieren². Leicht lässt sich die Gliederung dieser Arbeit den einzelnen Schichten zuordnen:

- Behandlung von Benutzerobjekten (2. und 5. Teil)
- Behandlung geometrischer Grundstrukturen (3. und 4. Teil)
- Raumbezogene Speicherungs- und Zugriffsalgorithmen (6. Teil).

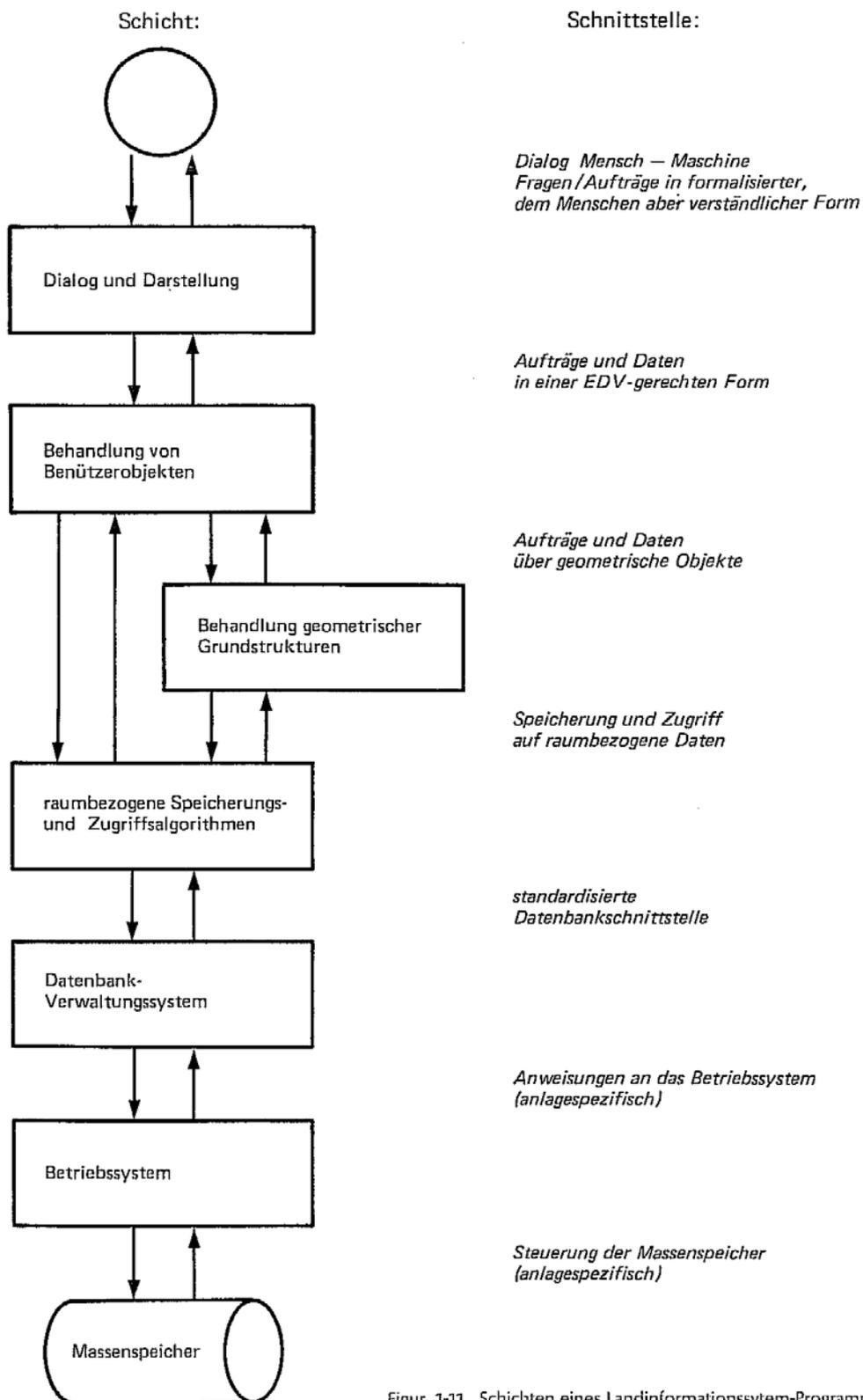
Damit ist auch angegeben, welche Teile eines Landinformationssystem-Programms in dieser Arbeit untersucht werden.

1.4.5 Anwendung der Ergebnisse

Diese Arbeit bildet Teil der theoretischen Grundlage für die Realisierung des MINI-LIS-Landinformationssystem-Prototypen am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der EH Zürich. Das MINI-LIS soll die Konzepte «Daten-bank» und «interaktiv-graphische Verarbeitung» integrieren und die Möglichkeiten moderner kleiner Computer in diesem Einsatzbereich praktisch demonstrieren.

Diese konkrete Aufgabe hat das Vorgehen in der vorliegenden Arbeit beeinflusst und durch die Wechselwirkung von theoretischer Überlegung und praktischer Prüfung zur Anwendbarkeit der hier präsentierten Ergebnisse beigetragen.

² Als Invarianten der entsprechenden Programme, wie sie etwa in [Wirth 75] beschrieben sind.



Figur 1-11 Schichten eines Landinformationssystem-Programms (Frank 81c)

Zweiter Teil

Daten eines Landinformationssystems

Kapitel 2.1 Daten beim Geometer

Kapitel 2.2 Grundbuchdaten

Kapitel 2.3 Daten der Gemeindeverwaltung

Kapitel 2.4 Zusammenfassung

In den folgenden drei Kapiteln werden die Daten beschrieben, welche in einem einfachen Landinformationssystem für einen schweizerischen Ingenieur-Geometer etwa enthalten sein können. Die Auswahl ist arbiträr, indem drei Anwendungsbereiche — m. E. die zentralen Anwendungen eines Landinformationssystems

- herausgegriffen werden, nämlich
- Vermessungsdaten der amtlichen Vermessung,
- Grundbuchdaten (ohne Pläne),
- raumbezogene Daten der Gemeindeverwaltung.

Natürlich können auch andere Anwendungen mit Landinformationssystemen bearbeitet werden; diese werden entsprechende andere Daten erfordern. In diesem Sinne wollen die Beispiele in dieser Arbeit auf das Allgemeine und Typische von Landinformationssystem-Daten hinweisen. Dies lässt sich leichter vom Konkreten her erläutern.

Die Aufzählung und Beschreibung der Daten ist exemplarisch und versucht nicht, einen bestimmten Fall erschöpfend zu behandeln oder gar auf regionale Verschiedenheiten einzugehen. Solche notwendigen Anpassungen sind einfacher, wenn das Typische einmal erkannt ist.

Ziel dieses Kapitels ist, die Elemente der gesuchten Struktur möglichst genau zu beschreiben, so dass nachher die Beziehungen zwischen ihnen leicht aufzudecken sind.

Kapitel 2.1

Daten beim Geometer

2.1.1 Gliederung der Vermessungsdaten

2.1.2 Messungen

2.1.3 Punkte

2.1.4 Gegenstände der Vermessung

2.1.5 Geometrische Figuren

2.1.6 Registerinformation

2.1.7 Arealstatistik

2.1.8 Zusammenfassung

Hier werden die in einem Geometerbüro auftretenden Daten beschrieben, wie sie einerseits als die geometrische Grundlage eines Landinformationssystems, andererseits aber auch für die Nachführung dieser Grundlagen notwendig sind.

Im Vordergrund der Anwendung stehen dabei die Daten der amtlichen Vermessung, die vor allem dem Schutz des Eigentums an Grund und Boden dienen, und der sogenannte Leitungskataster, der die Lage im Boden vergrabener Leitungen aller Art nachweist

2.1.1 Gliederung der Vermessungsdaten

Die Daten der Vermessung lassen sich grob in die drei Gruppen

- Messungen
- geometrische Ergebnisse
- Zusatzinformationen

gliedern. Von den administrativen und kommerziellen Daten, wie sie in jedem Vermessungsbüro auftreten, ist hier nicht die Rede, weil sie kaum dem Landinformationssystem-Bereich zugeordnet werden. Wird ein Landinformationssystem-Programm für einen konkreten Betrieb realisiert, so sollten administrative und kommerzielle Daten aber durchaus einbezogen werden.

2.1.2 Messungen

Die Messergebnisse, wie sie im Felde erhoben werden, beschreiben die Realisierung eines physikalischen Messvorganges verhältnismässig exakt Neben den eigentlichen geometrischen Grössen (Längen, Richtungen) werden eine Anzahl zusätzlicher Parameter, wie Exzentrizitätsparameter, atmosphärische Bedingungen usw., notiert. Die Erfassung der Messergebnisse geschieht zunehmend schon im Felde in maschinenlesbarer Form, so dass eine zusätz-

liche, vom Menschen auszuführende Datenerfassung entfällt

Die Rohmessungen werden anschliessend geometrisch und physikalisch korrigiert und ergeben die *aufbereiteten Messungen*. Mit den aufbereiteten Messungen werden die Koordinaten der aufgenommenen Punkte berechnet. Heute ist es zwar üblich, Messdaten in sogenannten Handrissen darzustellen und diese für spätere Arbeiten wieder heranzuziehen. Diesen Handrissen entspräche die EDV-Speicherung der Messdaten. Dafür fehlt aber heute noch ein Konzept, und in keinem bekannten EDV-System für die Vermessung werden die Messdaten nach der Berechnung der Punktkoordinaten aufbewahrt.

Nach heutiger Auffassung gehören die Messdaten noch nicht zu einem Landinformationssystem; die Behandlung der Datenstrukturen von Messungen ohne Konzept für die Auswertung ist zwecklos, weshalb diese hier nicht weiter behandelt werden.¹

2.1.3 Punkte

Aus den Messungen und den Koordinaten bereits bekannter Punkte werden die Koordinaten der aufgenommenen Punkte berechnet; zu jedem Punkt gehören ein Koordinatenpaar und ein Hinweis auf dessen Bedeutung (Hausecke, Hydrant, Grenzpunkt usw.)

Punkte werden eingeteilt in

- Vermessungsfixpunkte
- Grenzpunkte
- Detailpunkte

2.1.3.1 Vermessungsfixpunkte

Von Vermessungsfixpunkten ist neben der Lage meistens auch die Höhe bekannt.

Bei Vermessungsfixpunkten müssen manchmal neben den offiziellen Koordinaten weitere Koordinatenpaare gespeichert werden, die aus früheren oder aktuelleren Messepochen stammen.

Es ist zu speichern, wie der Vermessungsfixpunkt materialisiert ist (Bolzen, Kreuz, Stein) und wann die Koordinate bestimmt wurde. Weitere zusätzliche Angaben sind möglich.

Vermessungsfixpunkte werden eingeteilt in:

Triangulationspunkte

werden durch Richtungs- und Distanzmessungen in Dreiecksnetzen bestimmt und bilden die Grundlage der Vermessung. Sie werden unterteilt in vier Ordnungen (I. bis IV. Ordnung). Triangulationspunkte sind nummeriert oder tragen einen speziellen Namen. Triangulationspunkte sind häufig eigentliche Punktgruppen, die aus mehreren zusammengehörenden Punkten mit unterschiedlichen Koordinaten bestehen.

Polygon- oder Basispunkte

sind durch Richtungs- und Distanzmessungen zwischen die Triangulationspunkte eingepasst. Oft sind sie hierarchisch unterteilt in Haupt- und Nebenpolygonpunkte. Polygonpunkte werden im allgemeinen durch Ziffern-Buchstaben-Kombinationen bezeichnet.

Nivellementsunkte

sind Punkte, für die genaue Höhenangaben bestimmt wurden; die Lage ist im allgemeinen weniger genau bekannt. Sie können ebenfalls hierarchisch in verschiedene Gruppen eingeteilt werden und werden durch eindeutige Bezeichner identifiziert.

2.1.3.2 Grenzpunkte

Grenzpunkte bestimmen die Lage der privatrechtlichen Grenzen der Liegenschaften. Es wäre m. E. erforderlich, zumindest auch die Grenzen von Baurechten, die als selbständige Grundstücke im Grundbuch aufgenommen worden sind, nach den gleichen Verfahren wie Grenzen von Liegenschaften zu vermessen [Instruktion Art 28].

Ob für Grenzpunkte Punktnummern erforderlich sind oder nicht, wird unter Praktikern oft diskutiert.

2.1.3.3 Detailpunkte

Detailpunkte dienen zur Erfassung der Lage der Gegenstände der Erdoberfläche, es sind also Hausecken, Strassenränder, Leitungsmasten usw.

Sie werden im allgemeinen nicht speziell durch Punktnummern identifiziert, hingegen muss ihre Bedeutung recht detailliert aufgenommen werden.

¹ Ein Ansatz zu einem Konzept für die Aufbereitung von Messdaten mit der einer Implementierung zugrundegelegten Datenstruktur findet sich in [Kuhn 83].

2.1.4 Gegenstände der Vermessung

Nach der Instruktion für die Vermarktung und die Parzellarvermessung [Instruktion Art.28] sind folgende Gegenstände aufzunehmen:

- Vermessungsfixpunkte,
- Grenzen, sowohl Hoheitsgrenzen von Land, Kanton, Bezirk und Gemeinde als auch die privatrechtlichen Eigentums- und Dienstbarkeitsgrenzen,
- Bauten verschiedenster Art, z. B. bewohnte und unbewohnte Gebäude, Reservoirs, Zisternen, Friedhöfe, Umfassungs- und Stützmauern usw.,
- Strassen und Wege,
- Eisenbahnen,
- Gewässer und Wasserbauten,
- Kulturarten und Bodenoberfläche,
- Waldungen,
- Lokalnamen.

Daneben werden oft zusätzliche Objekte vermessen und im Plan dargestellt. Am wichtigsten sind wohl Leitungen, die mit Leitungstyp, Durchmesser und Armaturen aufgenommen werden.

Die Pläne werden ergänzt durch alphanumerische Hinweise, z. B. die Nummern von Parzellen, Strassennamen und Hausnummern usw.

2.1.5 Geometrische Figuren

Die vermessenen Punkte dienen in der Regel nur als Anhaltspunkte zur Konstruktion der geometrischen Figuren, die Gegenstand der Vermessung sind. Die notwendigen Verbindungslinien werden schon bei der Aufnahme graphisch skizziert und von dort auf die definitiven Pläne übertragen.

Erst in neuerer Zeit — um die Pläne automatisch zeichnen zu können — wird bei Neuvermessungen der Grenzverlauf der Parzellen alphanumerisch erfasst üblich ist, die Grenzpunkte im Umlaufsinn aufzuzahlen [Olivetti], [Digital 77]. Die dabei entstehende Redundanz ist erwünscht und dient zur Kontrolle der Eingaben.

Die Verbindungslinien zwischen den aufgenommenen Punkten sind unterschiedlich geformt. Für Privatrechtsgrenzen sind Geraden oder Kreisbögen vorgeschrieben [Instruktion Art. 13a²]; andere Linien interpoliert der Vermesser möglichst naturgetreu nach Augenmass.

2.1.6 Registerinformation

Der Geometer ist verpflichtet, neben den Plänen zusätzliche Register zu führen, nämlich [Instruktion Art. 48ff.]:

- ein *Liegenschaftenverzeichnis* mit den Nummern der Parzellen, den zugehörigen Grundeigentümern, den Flächenmassen, den Lokalnamen, den Kulturarten und allfälligen Mutationen und Bemerkungen,
- ein *Besitzstandregister*, das die Grundeigentümer in alphabetischer Reihenfolge mit Angaben der ihnen gehörenden Grundstücke enthält.

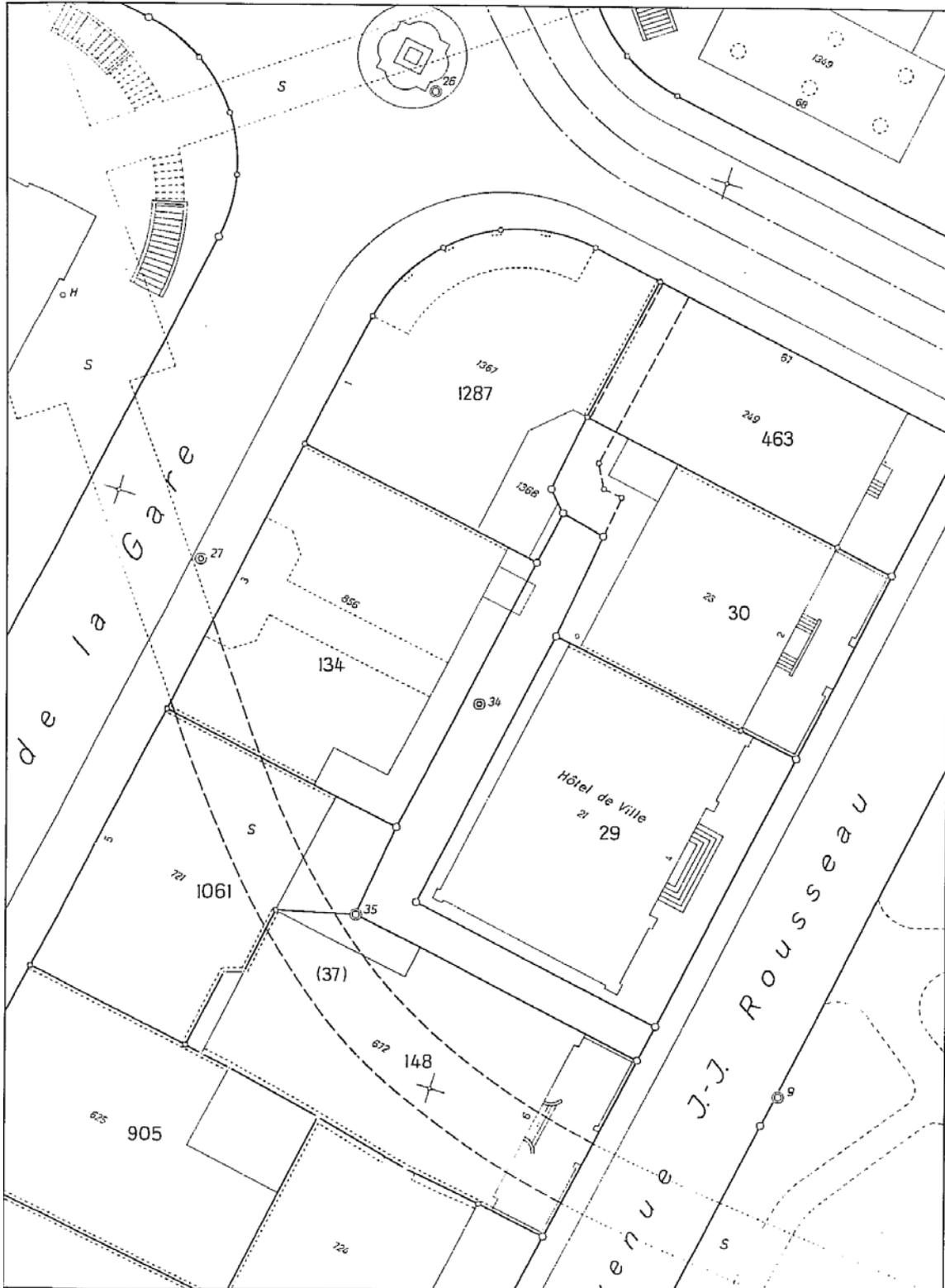
Kantonale Vorschriften verlangen manchmal zusätzliche Register, die aber meist keine weiteren Daten enthalten, sondern die vorne erwähnten anders gruppieren und damit als Information besser nutzbar machen.

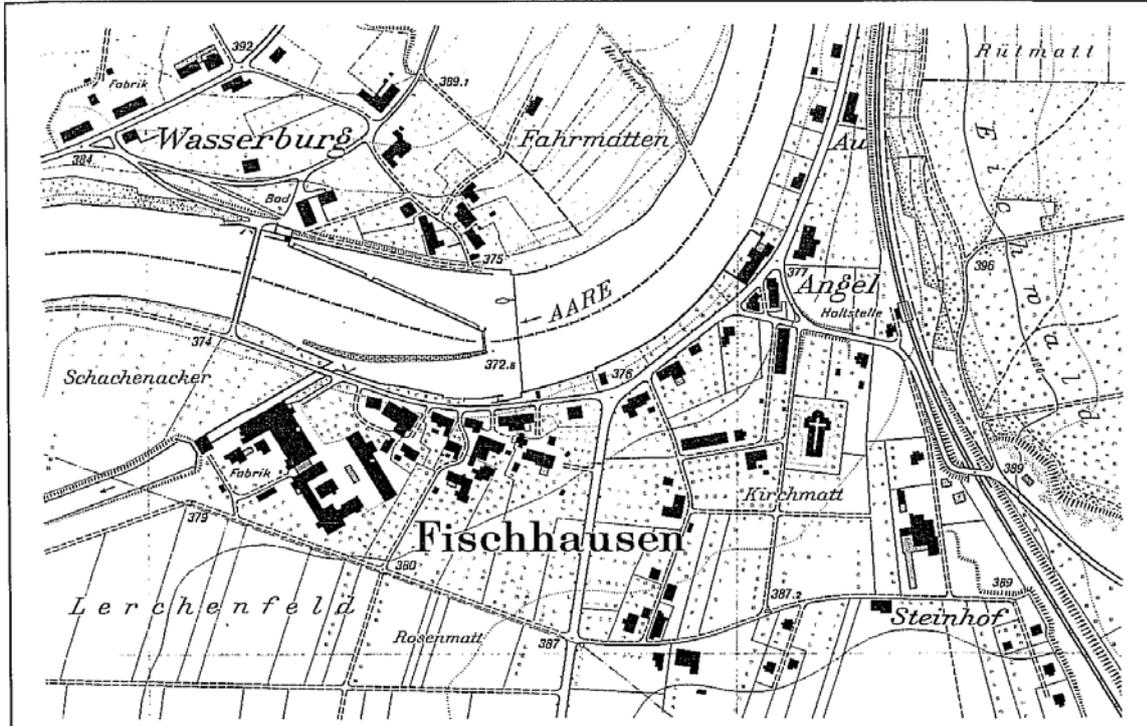
2.1.7 Arealstatistik

Um eine gesamtschweizerische Statistik über die Bodenbenutzung zu erstellen, wird vom Geometer für jede Parzelle eine geometrische Aufteilung in Flächen gleicher Nutzung vorgenommen¹ und deren Flächenmass bestimmt. Diese Masse werden dann gemeindeweise zur sogenannten Arealstatistik zusammengefasst und an das Bundesamt für Statistik weitergeleitet. Diese an sich bestechende Idee krankt einerseits daran, dass die Grundbuchvermessung noch nicht für das gesamte Gebiet der Schweiz abgeschlossen ist, was eine gesamtschweizerische Auswertung bisher verunmöglicht hat, andererseits daran, dass die Nachführung nicht genügend genau geregelt und darum lückenhaft ist. Um diesem Übelstand abzu- helfen, haben [Kölbl 78], [Trachler 80] ein photogrammetrisch-statistisches Verfahren vorgeschlagen, das in regelmässigen Intervallen gesamtschweizerisch Werte zumindest für bestimmte Nutzungskategorien zu liefern vermag. Die Arealstatistik unterscheidet heute zwischen 10 verschiedenen Nutzungskategorien:

- Gebäude
- Hofraum, Garten und Anlagen
- Acker, Wiesen
- Reben
- Weiden
- Wald
- Weidewald
- Bahnen, Strassen

¹ Diese Flächen gleicher Nutzung werden im folgenden als Nutzung oder Nutzungspartellen bezeichnet.

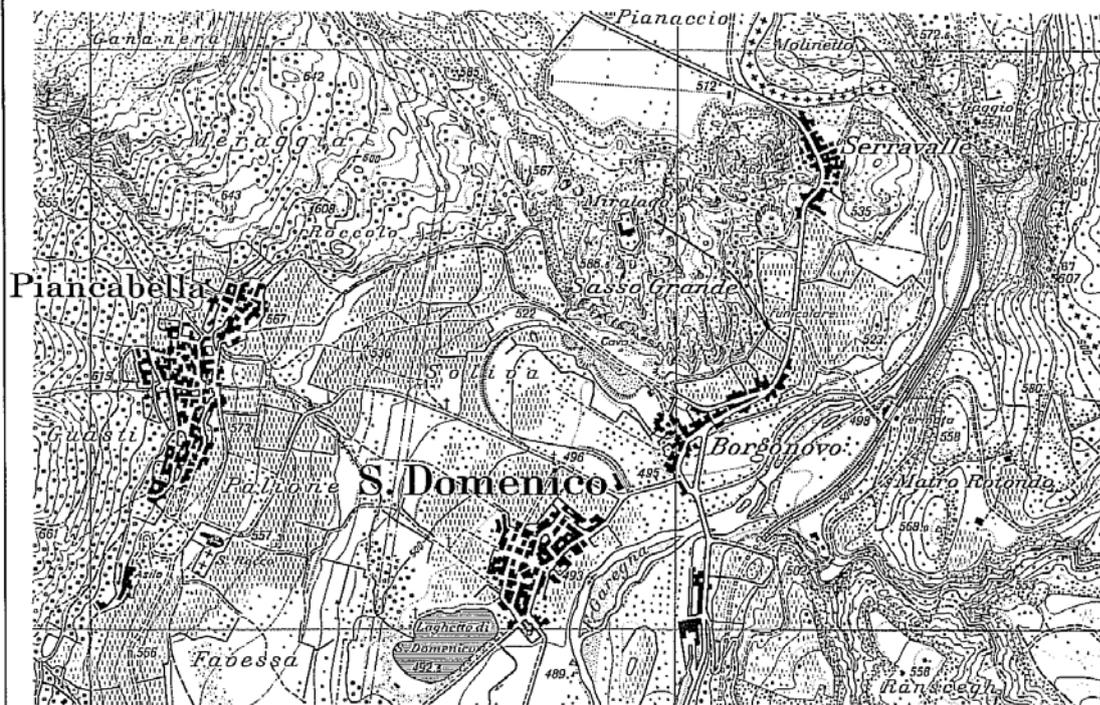




Ausführungsbeispiel 1 : 5000,
 Mittellandgebiet mit Eigentumsgrenzen

Exemple 1 : 5000,
 zone du Plateau avec limites de parcelles

Esempio 1 : 5000,
 zona dell'Altipiano con limiti di particelle



Ausführungsbeispiel 1 : 10 000,
 Vegetation der Südtäler

Exemple 1 : 10 000,
 végétation dans les vallées méridionales

Esempio 1 : 10 000,
 vegetazioni delle valli meridionali

- Gewässer
- unkultiviertes Gebiet

Im Rahmen des Projektes «Reform der amtlichen Vermessung» wird diese Einteilung heute überprüft.

2.1.8 Zusammenfassung

Der Geometer arbeitet mit einer kleinen Zahl gut strukturierter Datenobjekte, die in Listen oder Karteien verwaltet werden und deren Übertragung in eine Datenbank ohne schwerwiegende Strukturänderung möglich ist.

Daneben tritt aber eine Vielzahl von geometrischen Objekten auf, die bisher nur graphisch verarbeitet wurden.

Die heute übliche Weiterverarbeitung, die sich ständig auf die Interpretation der graphischen Darstellung durch den Menschen abstützt, erforderte keine weitergehende Strukturierung. Für die gleiche oder umfassendere Verarbeitung mit EDV-Anlagen hingegen ist sie erforderlich.

Kapitel 2.2

Grundbuchdaten

2.2.1 Grundbuch

2.2.2 Grundbuchführung mit Computer

2.2.3 Räumliche Gliederung der Grundbuchführung

2.2.4 Gliederung des Grundbuches

2.2.5 Erfasste Daten

Hier werden die Grundbuchdaten — ohne Pläne —, wie sie vom Grundbuchverwalter bearbeitet werden, beschrieben. Obgleich sich für die zu erfassenden Sachverhalte und Rechtsverhältnisse durch eine eventuelle Führung des Grundbuches mit EDV-Unterstützung nichts ändern sollte, wird zusätzlich kurz auf die speziellen rechtlichen Probleme verwiesen, die mit der Einführung von EDV für das Grundbuch zusammenhängen.

2.2.1 Grundbuch

Das schweizerische Grundbuch besteht aus verschiedenen Teilen [ZGB Art 942], wovon die wichtigsten das Hauptbuch und die Pläne sind. Üblicherweise werden das Hauptbuch und die zugehörigen Register von rechtlich geschulten Personen geführt, wogegen die Pläne von

vermessungstechnisch ausgebildeten Personen erstellt und nachgeführt werden. Die verschiedenen Teile bilden zusammen das Grundbuch, auch wenn sie oft an unterschiedlichen Orten aufbewahrt werden.

Das Grundbuch ist das im schweizerischen Recht vorgesehene Mittel, um in erster Linie die dinglichen Rechte, aber auch weitere Rechtsverhältnisse an Grundstücken publik zu machen. «Die Einwendung, dass jemand eine Grundbucheintragung nicht gekannt habe, ist ausgeschlossen» [ZGB Art 970, 3]. «Die dinglichen Rechte entstehen... durch die Eintragung in das Hauptbuch» [ZGB Art 972].

Die Analyse der benötigten Daten ist durch die detaillierten Vorschriften über die Grundbuchführung [Grundbuchverordnung] und die Musterformulare [Musterformulare] sehr erleichtert. Der im schweizerischen Sachenrecht herrschende Numerus clausus beschränkt die zu erfassenden Sachverhalte zusätzlich auf wenige Typen [Friedrich 74].

2.2.2 Grundbuchführung mit Computer

Die meisten Eintragungen im Grundbuch entfalten nach schweizerischem Recht direkt gewisse Rechtswirkungen. Beim Übergang von der traditionellen, vielerorts noch handschriftlichen Eintragung in grossen Folianten, den eigentlichen Grundbüchern, auf die Speicherung mittels eines EDV-Systems sind einige Rechtsfragen zu klären. In Österreich, dessen Grundbuchrecht dem schweizerischen vergleichbar ist, wurden sie durch das «Bundesgesetz über die Umstellung des Grundbuches auf automations-unterstützte Datenverarbeitung» [Grundbuchumstellungsgesetz 80] gelöst. Ähnliche Bestrebungen laufen zur Zeit in der Bundesrepublik Deutschland [Göttlinger 81]. Deshalb darf angenommen werden, dass diese Fragen auch für die Schweiz lösbar sind [Friedrich 80].

2.2.3 Räumliche Gliederung der Grundbuchführung

«Zur Führung des Grundbuches werden Kreise gebildet. Die Grundstücke werden in das Grundbuch des Kreises aufgenommen, in dem sie liegen» [ZGB Art 951]. Damit ist schon im geltenden Recht die für Landinformationssysteme typische regionale Einteilung vorgesehen (vgl. 1.2.4).

Für ein Landinformationssystem hinderlich ist die Erlaubnis, «die nicht im Privateigentum stehenden und die dem öffentlichen Gebrauch dienenden Grundstücke» [ZGB Art 944¹], d. h. vor allem Strassen und Wege, nicht aufzunehmen. Um Vollständigkeit zu erreichen, müssten die Kantone überall die Aufnahme auch dieser Liegenschaften vorschreiben.

Nach heutigen Vorschriften ist es im übrigen zulässig, dass sich eine Liegenschaft über mehrere Grundbuchkreise erstreckt; sie ist dann in jenem Kreis aufzunehmen, in dem sich der grösste Teil ihrer Fläche befindet, und in den Grundbüchern der andern Kreise ist ein Hinweis auf diese Eintragung anzubringen [ZGB Art. 952]. Erstrebenswert für ein Landinformationssystem müsste sein, diese Regel, die kaum mehr praktische Bedeutung besitzt, aufzuheben und Liegenschaften, die die Grenzen der Grundbuchkreise überschreiten, zu teilen.

2.2.4 Gliederung des Grundbuches

«Das Grundbuch besteht aus dem Hauptbuch und den das Hauptbuch ergänzenden Plänen, Liegenschaftsverzeichnissen, Belegen, Liegenschaftsbeschreibungen und dem Tagebuch» [ZGB Art. 942]. Wenn auch diese Gliederung unter dem Gesichtspunkt der EDV-Führung nicht das gleiche Gewicht hat, so gibt sie zumindest einen Ansatz zur Struktur der anfallenden Daten und einen Hinweis auf die für die Aufgabe des Grundbuches notwendigen Zugriffspfade.

Wichtigster Grundsatz der Gliederung des Grundbuches ist das *Realfoliensystem*, d. h. «jedes Grundstück enthält im Hauptbuch ein eigenes Blatt und eine eigene Nummer» [ZGB Art. 945]. Die Gründe zur Führung von Kollektivblättern [ZGB Art. 947] dürfte beim Einsatz von EDV-Hilfsmitteln nicht mehr gegeben sein [Friedrich 80]; Kollektivblätter werden deshalb aus den folgenden Betrachtungen ausgeschlossen.

Die Belege werden von der weiteren Untersuchung ebenfalls ausgeschlossen, weil sie sich (zumindest heute) nicht für die Verarbeitung mit EDV-Hilfsmitteln eignen.

2.2.5 Erfasste Daten

2.2.5.1 Hauptbuch

Im Hauptbuch werden die Grundstücke eines Grundbuch-Kreises aufgenommen [ZGB Art. 951 und Art. 945].

Als Grundstücke werden in das Grundbuch nicht

nur Liegenschaften, sondern auch
— Miteigentumsanteile an Grundstücken,
— selbständige dauernde dingliche Rechte, wie
Baurecht,
Quellenrecht,
Wasserrecht
aufgenommen [ZGB Art. 943].

Grundstücksnummer

Jedes Grundstück erhält eine Nummer, die auch auf dem Grundbuchplan eingetragen wird. Diese Nummer stimmt nicht immer mit der *Blattnummer* des Grundbuches überein.

Hinweise auf vorangehende beziehungsweise nachfolgende Blätter erlauben der Geschichte eines Grundstückes über mehrere nacheinander benützte Blätter zu folgen [Grundbuchverordnung Art. 5].

Auf dem Blatt des Grundstückes werden unterschiedliche Rechtswirkungen durch verschiedene Arten der Einschreibung zum Ausdruck gebracht.

Eigentum

Die Eintragung des Eigentums besteht in der Angabe des Eigentümers, des Eintragungsdatum und des Erwerbsgrundes [Grundbuchverordnung Art. 31]

Eigentümer können sein:

- eine natürliche Person,
- eine juristische Person,
- eine Mehrzahl von Eigentümern, entweder als Mit- oder als Gesamteigentümer,
- der jeweilige Eigentümer eines andern Grundstückes (subjektiv dingliche Verknüpfung [Grundbuchverordnung Art. 32]).

Dienstbarkeiten und Grundlasten:

Es werden Dienstbarkeiten und Grundlasten als dingliche Lasten eingetragen. Wo diese Rechte dem jeweiligen Eigentümer eines andern Grundstückes zustehen, werden sie auch auf dessen Blatt zum Ausdruck gebracht [Grundbuchverordnung Art. 35]. Für Grundlasten ist auch der Gesamtwert anzugeben [Grundbuchverordnung Art. 37].

Pfandrechte:

Die Eintragung der Pfandrechte ist durch die Möglichkeit fester Pfandstellen, also nicht nur der Alterspriorität wie bei den andern Belastungen, kompliziert.

Zu jedem Pfandrecht werden eingetragen

- die Litera, ein Identifizierungsmerkmal, um

Blatt 103	Plan Blatt V, Parzelle N° 54	Beschreibung des Grundstücks										
		Fläche			Wohnhaus mit Scheune, Assek.-N° 66, und Stieklokal, Assek.-N° 66a, Garten und Wiesland. 9 a 40 m ² liegen in der Gemeinde Dürnten (GB Kreis Wald), GB Dürnten, N° 46. Abgang inf. Straßenkorrektur. 1926, April 18. B. 176. Grenzen gemäß Plan.							
		ha	a	m ²								
1	20	3										
Alte Nummern: 37	Ortsbezeichnung Im Moos Dachelstraße Wetzikon	5										
Neue Nummern:		1	19	98								
Fortsetzung Fol.:												
Vormerkungen A. N. 258, 260, 261	Eigentum					Dienstbarkeiten und Grundlasten						
	Eigentümer	Eintrag		Erwerbsart	Beleg	Lit.	R= Rechte L= Lasten		Eintrag			
		Jahr	Monat	Tag					Jahr	Monat	Tag	Beleg
1. Copulationsspruch des Hans Brand, lat. C. 19 21. II 1919, Dec. 21. II. 7	Brand, Emilie, Ernst	1918	Mo	31	Kauf	1	a	R. Fahrweg über N° 241 und 242	1918	Mo	31	2
	Brand, Emilie						a	Fahrwegrecht gelösch.				
	Brand, Rosa	1919	Ok	20	Erbgang	6		Denzler, GB Verw.	1926	Mo	13	10
							b	R. Tränkerecht z. L. N° 253	1919	Febr.	11	6
	Brand, Emilie	1915	Dec.	21	Erteilung	7						
Gröschl. 1924, Aug. 9. II. 17	Fuchsberger, Brand, Robert	1921	Mo	11	Ehesetzung	9	c	I. Unterhaltspflicht zu 1/2 betr. Brunnenhülle auf N° 253 im Gesamtwert von Fr. 200.—, verbunden mit Nr. b.	1919	Febr.	2	5
2. Pfändung: Hess. N° 1502 Reg. N° 1502	Baumann, Fritz Johann	1924	Aug.	9	Kauf	16						
	Furrer, Joh., Miteigent. zu 1/2	1930	Juli	10	Kauf	25						
	Furrer, Xaver, Miteigent. zu 1/2											
							d	R. Fußwegrecht z. L. N° 232	1924	Aug.	9	18
							e	L. Fußwegrecht z. G. N° 232	1924	Aug.	9	18
							f	L. Baurecht z. G. Fritz Burger, s. Bem. zu Grundpfandein- trägen Ziff. 11. Verzelstän- digt a. G. B. N° 205.	1931	Febr.	1	35
3. V. B. Eigentum, Dienst- barkeit, Grundpfand- rechte, N° 1236 1925, Aug. 9.												
v. A. u. gelöst 1925, Nov. 12.												
4. Verkaufrecht z. G. Max Schür für 7 Jahre. 1925, Okt. 3. II. 19.												

Formular Nr. 62

Anmerkungen				Schatzungen											
1) Zugehör: Im Stieklokal: 1 Stickmaschine, 10 Yard, System Saurer, und 1 Fädelmaschine, System Gögäuf. 1918, Mai 31. B. 4. 2) Dem jeweiligen Eigentümer steht das Miteigentum zu 1/2 an GB N° 307 zu. 1918, Mai 31. B. 1a. 3) Gesetzliches Winterwegrecht über N° 509. 4) Mitgliedschaft zur öff.-rechtl. Pflurgensossenschaft im Moos. 1922, Mai 7. B. 37.				Jahr	Summe	V	Jahr	Summe	V	Jahr	Summe	V	Jahr	Summe	V
				Grundsteuer			Bruttolusskursum			Pflanzschätzung					
				1910	36 000	S. 34	1918	24 000	S.	1918	36 000	3			
				1920	40 000	102			110	1923	40 000	11			
Grundpfandrechte															
Litera	Art	Gläubiger zur Zeit der Errichtung	Gl.-Reg. 5. 109	Pflanzsumme			Zins	Pflanz- stelle	Eintrag			Beleg	Bemerkungen Zu den Grundpfandeinträgen*)		
				Fr.	Rb.	%			Jahr	Monat	Tag				
A	Gült	Schweiz. Hypothekbank, Solothurn		1:0:0:0:0		4	I	1918	Mai	31	3	1. Zu A: N° 810 und 811 mitverpfändet. 1918, Mai 31**)			
B	Sch.-B. gelöst	Brand, Rosa, Hinwil		1:0:0:0:0		4 1/2	II	1919	Dec.	21	8	2. Zu B: N° 810 und 811 mitverpfändet. 1919, Dec. 21			
C	Pf.-V.	Fuchsberger-Brand, Emilie		1:0:0:0:0		4 1/2	III	1921	Mai	2	10	3. Zu C: Fr. 2000 abbez. 1921, Mai 2.			
D	Sch.-B.	Brand, Rosa, Hinwil		1:0:0:0:0		4 1/2	II	1923	Juli	3	11	4. Zu D: N° 810 und 811 mitverpfändet. 1923, Juli 3			
E		Leere Pfandstelle		1:0:0:0:0		4 1/2	II	1923	Juli	3	11	5. Zu E: Fr. 2000 abbez. 1923, Juli 3.			
F	Pf.-V.	Pflurgensossenschaft im Moos		1:0:0:0:0		4 1/2	B-V	1923	Aug.	5	13	6. Zu F: Fr. 2000 abbez. und Zinsfuß auf 1% reduz. 1924, Dec. 30.			
G	Sch.-B.	Inhaber		1:0:0:0:0		4 1/2	II	1923	Dec.	15	14	7. Zu G: Abzahlbar in 4 jährl. Raten. 1925, Aug. 9.			
H	Pf.-V.	Keller, Hans, Baumeister		2:0:0:0:0		4 1/2	III	1925	Aug.	9	18	8. Zu A, D, F, G u. H: 5 m ² aus der Pfandhaft entlassen. 1926, April 18. 9. Zu A, D, F u. H: Zap. vorgehend. Errichtung des Baurechts auf lit. f zu- gestimmt. 1931, Febr. 1.			

*) Aus technischen Gründen wurde die Unterstellung der Kolonne weggelassen.
**) Es empfiehlt sich, außerdem die Belegnummer anzugeben.

- die verschiedenen Pfandrechte zu unterscheiden
- die Art (Grundpfandverschreibung, Schuldbrief)
- der Gläubiger zur Zeit der Errichtung
- Pfandsumme und evtl. Zinsfuss
- Pfandstelle (Rang)
- Datum des Eintrages
- Verweis auf den Beleg.

Auf besondere Absprachen, z. B. das Recht auf Kündigung, Amortisationen, wird unter «Bemerkungen» hingewiesen [Grundbuchverordnung Art. 40].

Anmerkungen:

Die Anmerkungen können unterschiedlichen Inhalt haben; so kann z. B. auf das Vorhandensein von Zugehör zur Liegenschaft hingewiesen werden [ZGB Art. 946²]. Schliesslich werden dort auch Hinweise auf gesetzliche (d. h. ohne Eintrag bestehende) Beschränkungen oder Berechtigungen gemacht [ZGB Art. 962], [Grundbuchverordnung Art. 78ff.].

Vormerkungen:

Die Vormerkungen dienen zur Verstärkung von persönlichen Rechten; diese vorgemerkten Rechte können jedem späteren Eigentümer des Grundstückes gegenüber geltend gemacht werden [ZGB Art. 959].

Es wird in möglichster Kürze der wesentliche Inhalt des Rechtes mit Verweis auf den Beleg angegeben. Daneben können auch Verfügungsbeschränkungen [ZGB Art. 960] und vorläufige Eintragungen [ZGB Art. 961] vorgemerkt werden.

2.2.5.2 Liegenschaftsbeschreibungen

Für jedes Grundstück ist eine Liegenschaftsbeschreibung herzustellen, entweder auf einem besonderen Formular oder auf dem Blatt des Grundstückes im Hauptbuch [Grundbuchverordnung Art. 4]. Sie besteht nach dem Musterformular aus

- Verweis auf den Grundbuchplan und die Parzellennummer der Grundbuchvermessung, der Ortsbezeichnung (z. B. Strasse und Hausnummer, Lokalname usw.), Fläche mit Änderungen,
- Beschreibung, wobei im allgemeinen die Nutzung angegeben wird (z. B. Wohnhaus mit Scheune, Ass. Nr. 66 ...).

2.2.5.3 Tagebuch

Das Tagebuch dient dem einstweiligen Festhalten des Datums einer Grundbuchanmeldung, bis diese im Hauptbuch erfolgen kann.

Es werden erfasst

- Tag und Stunde des Einganges,
 - Name und Wohnort des Anmeldenden,
 - Nummer des betroffenen Grundstückes,
 - Inhalt der Anmeldung,
- und schliesslich
- Bemerkungen, insbesondere Erledigung.

2.2.5.4 Hilfsregister

Neben dem Hauptbuch werden noch zusätzliche Register geführt:

Eigentümerregister, um die Parzellen eines Eigentümers auffinden zu können,

Gläubigerregister, das, sofern vom Gläubiger beantragt, die Namen der Gläubiger von Grundpfandforderungen oder Förderungspfandgläubigern angibt,

Pfändungsregister, das Pfändungen und Stundungen aufzeigt,

Berichtigungsbuch, das die allfälligen Berichtigungen aufzeichnet

Das letzte Register wird von der folgenden Diskussion ausgeklammert, weil es organisatorischer Natur ist und zu den speziellen Problemen eines Landinformationssystems wenig beiträgt. Die drei ersten Hilfsregister zeigen hingegen erforderliche Zugriffspfade zu den im Grundbuch enthaltenen Daten.

Kapitel 2.3

Daten der Gemeindeverwaltung

2.3 Grundlagen

2.3.2 Gliederung der raumbezogenen Daten der Gemeindeverwaltung

2.3.3 Grundstücksdaten

2.3.4 Gebäudedaten

2.3.5 Leitungsdaten

Neben dem Schutz des Eigentums an Grund und Boden dienen die Vermessungsergebnisse noch vielfältigen andern Zwecken.

In diesem Kapitel wird die Beziehung zu Daten anderer räumlich fixierter Objekte, wie sie in Gemeindeverwaltungen verwendet werden, analysiert

Natürlich dienen die Vermessungsdaten auch in kantonalen und eidgenössischen Verwaltungen mannigfaltigen Zwecken. Hingegen sollten die hier diskutierten Anwendungen die datenbank-technischen Probleme genügend aufzeigen, so dass sich für diese Arbeit eine Erweiterung auf die kantonale oder eidgenössische Ebene nicht aufdrängt.

2.3.1 Grundlagen

Die Gemeindeverwaltung ist in der Schweiz nicht einheitlich organisiert; je nach Grösse, Einwohnerzahl, aber auch kantonalen Vorschriften ergeben sich unterschiedliche Verfahren.

Im Hinblick auf die Einführung von automatischer Datenverarbeitung wurde eine grössere zürcherische Vorortsgemeinde von einem Unternehmensberater untersucht [Schneider 80]. Die dabei erstellten Unterlagen bilden Grundlage der folgenden Ausführungen. Trotz der Behandlung eines speziellen Falles werden dabei die wesentlichen Aspekte sichtbar werden.

2.3.2 Gliederung der raumbezogenen Daten der Gemeindeverwaltung

Die raumbezogenen Daten einer Gemeindeverwaltung können in

- Grundstücksdaten,
- Gebäudedaten,
- Leitungsdaten

gegliedert werden.

Innerhalb der Gemeindeverwaltung werden diese Daten mit Personendaten verknüpft. Verwaltungshandlungen beziehen sich immer auf eine Person, beispielsweise als Eigentümer oder als Bewohner eines Gebäudes.

2.3.3 Grundstücksdaten

Ein Grundstück wird durch eine Grundstücksnummer identifiziert. Daneben wird die Adresse bzw. der Lokalname angegeben. Das Grundstück wird weiter beschrieben durch seine Fläche und die Flächenanteile, die in verschiedenen Bauzonen liegen, wobei diese wiederum nach den Kulturarten aufzuteilen sind.

Wichtig ist für die Gemeindeverwaltung der Verkaufspreis anlässlich der letzten Handänderung

mit deren Datum. Neben den Eigentümern ist auch anzuführen, wer das Grundstück verwaltet.

Für öffentliche Grundstücke ist die Anzahl der Parkplätze festzuhalten.

2.3.4 Gebäudedaten

Die Gebäudedaten können im vorliegenden Fall in die eigentlichen Gebäudedaten, die Heizungsdaten und die Zivilschutzdaten aufgeteilt werden.

Eigentliche Gebäudedaten

Gebäude werden durch die Assekuranznummer der kantonalen Brandversicherung identifiziert. Daneben wird eine grosse Zahl von beschreibenden Angaben und Verweisen auf Akten gespeichert:

- Nutzung,
- Anzahl Wohnungen und deren Grösse,
- Anzahl Autoabstellplätze,
- Bauweise,
- effektive Ausnutzungsziffer,
- Gebäudegrösse (Volumen, Anzahl Geschosse),
- Hinweis auf Bauakten,
- Schätzwert,
- Datum letzte Kontrolle des Aufzuges, Feuer-schau usw.

Heizungsdaten

Es wird die Heizungsart mit einigen Details erfasst. Für Gebäude ohne eigene Heizung muss ersichtlich sein, woher der Wärmebezug erfolgt.

Zu den Heizungsdaten können auch die detaillierten Beschreibungen der Tanks gezählt werden.

Sowohl Heizung als auch Tanks müssen von der Gemeindebehörde regelmässig kontrolliert werden; es werden demgemäss die Daten der letzten Kontrolle erfasst

Zivilschutzdaten

Für jedes Gebäude ist die Zuordnung zu Zivilschutzquartier und -block festzustellen. Die vorhandenen Zivilschutzeinrichtungen werden z. B. mit der Anzahl der Schutzpläne erfasst. Auch hier wird das Datum der letzten Kontrolle mitgeführt.

2.3.5 Leitungsdaten

Für den Unterhalt der Leitungen sind neben deren Lage, wie sie aus den Plänen der Vermes-

sung hervorgehen, zusätzliche Daten notwendig:

- Material und Konstruktionstyp einer Leitung,
- Abmessungen (Durchmesser),
- Verlegeart und Datum,
- Verweise auf Bauakten, Schaden und Reparaturen.

Neben den Leitungen sind auch Armaturen, Schieber, Verzweigungen u. ä. zu beschreiben.

Kapitel 2.4

Zusammenfassung

2.4.1 Gemeinsame geometrische Grundlagen

2.4.2 Andere gemeinsame Daten

2.4.3 Zusätzliche Daten

2.4.4 Verknüpfungen zwischen räumlichen Objekten

2.4.5 Unterschiedliche Begriffe verschiedener Verwaltungsstellen

2.4.6 Zuständigkeiten

Aus den drei exemplarischen Untersuchungen von drei wichtigen Landinformationssystem-Teilen haben sich gemeinsame Gesichtspunkte ergeben. Werden diese Daten aus verschiedenen Quellen integriert, so ergeben sich neue Probleme, die genau studiert werden müssen.

2.4.1 Gemeinsame geometrische Grundlagen

Die drei untersuchten Bereiche beziehen ihre Daten vor allem auf die räumlichen (flächenhaften) Objekte Grundstück und Gebäude, wobei das Grundstück allenfalls noch unterteilt werden muss oder grössere Einheiten, wie Quartiere, Zivilschutzblöcke usw., gebildet werden.

Der Leitungskataster bezieht seine Angaben auf Leitungen (linienförmige Objekte) oder auf punktförmige Armaturen.

2.4.2 Andere gemeinsame Daten

Nicht nur die geometrischen Daten, sondern auch andere Daten werden von *verschiedenen* Stellen verwendet. Die beim Geometer geführten Register duplizieren Angaben des Grundbuches, die auch in den Karteien der Gemeindeverwaltung aufgezeichnet sind. Die Einführung eines Landinformationssystems führt also auch im Bereich der nicht-geometrischen Daten zu einer Rationalisierung.

2.4.3 Zusätzliche Daten

Jede Anwendung erfasst die für sie wichtigen speziellen Daten über die räumlichen Objekte. Diese dienen für diese Anwendung zur näheren Charakterisierung der Objekte und werden nur ausnahmsweise von anderen Stellen verwendet.

2.4.4 Verknüpfungen zwischen räumlichen Objekten

In einigen Fällen benötigen die Anwendungen Angaben über Beziehungen zwischen verschiedenen räumlichen Objekten. Solche Beziehungen können sich aus der Lage der Objekte ergeben. Beispielsweise bedingt die Lage eines Gebäudes dessen Zugehörigkeit zu einem Quartier.

Ein Landinformationssystem sorgt dafür, solche allgemeine geometrische Angaben in verschiedenen Registern übereinstimmen.

2.4.5 Unterschiedliche Begriffe verschiedener Verwaltungsstellen

Bei der Integration von Daten aus unterschiedlichen Quellen ist auf die Übereinstimmung der Begriffe und Strukturen der zugrundeliegenden Realität zu achten. Der Begriff «Liegenschaft» des Grundbuchverwalters deckt sich nicht immer mit dem «Grundstück» der Gemeindeverwaltung oder der «Parzelle» des Geometers.

Vor der praktischen Anwendung muss solchen Unterschieden genau nachgegangen werden. Am Institut de Géodésie et Mensuration der EPFL werden solche Fragen zur Zeit untersucht [Chevallier 81]. In den Niederlanden wurde die Klassierung topographischer Elemente in Karten für verschiedene Benutzer genau untersucht und eine einheitliche Liste erstellt [Guttenberg 79], [BOCO 80], [Guttenberg 81] (vgl. 1.4.1).

2.4.6 Zuständigkeiten

Für eine reibungslose Zusammenarbeit zwischen verschiedenen Verwaltungsstellen ist eine klare Gliederung der Zuständigkeiten erforderlich; dies gilt auch im Datenbereich.

Die angeführten Beispiele zeigen deutlich, welche Verwaltungsstellen Daten erheben und welche andere Stellen diese Daten benötigen.

Daraus muss folgen, dass die erhebende Stelle die Verantwortung für die Richtigkeit der Daten trägt, dass aber auch nur sie zum Ändern dieser Daten befugt ist. Die andern Stellen dürfen nur lesend zugreifen. Stellen sie Fehler fest, so müssen sie die

verantwortliche Stelle um Korrektur ersuchen, dürfen aber keinesfalls selber korrigieren. Das EDV-System muss eine solche Trennung der Verantwortlichkeitsbereiche unterstützen und Kompetenzübergriffe verhindern.

Dritter Teil

Strukturierung zweidimensionaler Sachverhalte:
Geometrische Primitive

- Kapitel 3.1 Grundlagen
- Kapitel 3.2 Geometrische Primitive
- Kapitel 3.3 Metrische Operationen mit geometrischen Primitiven
- Kapitel 3.4 Ableitung der eindeutigen, absoluten Geometrie
- Kapitel 3.5 Konsistenzbedingungen: Eindeutigkeit und Vollständigkeit geometrische Primitive
- Kapitel 3.6 Bedeutung der geometrischen Figuren.
- Kapitel 3.7 Topologische Operationen mit geometrischen Primitiven
- Kapitel 3.8 Zusammenfassung

Die Beschreibung der Daten im zweiten Teil liess für die Daten, die nicht-geometrische Sachverhalte darstellen, schon eine deutliche Gliederung in einzelne Datenelemente und Beziehungen zwischen ihnen erkennen. Die geometrischen Sachverhalte, die heute fast ausschliesslich graphisch in Planen dargestellt werden, müssen hingegen weiter analysiert werden [van Lamsweerde 81].

Im 3. und 4. Teil werden die Grundlagen für eine allgemeine Strukturierung zweidimensionaler geometrischer Sachverhalte entwickelt, die auf die vorher erwähnten Objekte eines Landinformationssystems angewandt werden können.

Hier werden die einfachsten geometrischen Elemente - Punkte und Linien aus denen sich die geometrischen Figuren zusammensetzen, untersucht. Zuerst wird die Wahl dieser einfachsten Elemente, hier geometrische Primitive genannt, begründet. Eine Analyse der zwischen ihnen bestehenden topologischen Beziehungen - ein Punkt kann auf einer Linie liegen u. ä. - ergibt die Struktur. Beziehungen zwischen Punkten und Linien werden hervorgehoben und die dafür geltenden Konsistenzbedingungen formuliert. Aus diesen Beziehungen können im nächsten Teil komplexere Sachverhalte abgeleitet werden.

Kapitel 3.1

Grundlagen

- 3.1.1 Zweidimensionaler Raum
- 3.1.2 Koordinatensystem
- 3.1.3 Mathematische Koordination und Vermessung
- 3.1.4 Topologie

Obgleich die Vermessung nur Beziehungen zwischen Punkten (Winkel, Distanzen usw.) messen kann, werden Lage und Form von Gegenständen meist mit kartesischen Koordinaten beschrieben.

Als Idealisierung wird die "absolute Geometrie", ausgedrückt in einem idealen Koordinatensystem, gebildet

3.1.1 Zweidimensionaler Raum

Die Vermessung hat die Aufgabe, Form und Lage der Erdoberfläche sowie der darauf befindlichen Objekte festzustellen. Die Lage eines Punktes der Erdoberfläche ist durch zwei Parameter bestimmt. Die Form des Reliefs lässt sich dann mit einem dritten, abhängigen Parameter als Funktion der ersten beiden beschreiben:

$$\text{Relief: } f(x, y) \rightarrow z$$

Der vorliegenden Arbeit wird deshalb ein zweidimensionaler Raum als Abbildung der Erdoberfläche zugrundegelegt. Damit ist die Behandlung von Höheninformation nicht etwa ausgeschlossen; sie kann den Daten eines Punktes jederzeit als zusätzliche Angabe beigelegt und von den Anwendungsprogrammen verwendet und auch zu einem digitalen Geländemodell mit Stützpunkten und Interpolationsverfahren ausgebaut werden.

3.1.2 Koordinatensystem

Die Form und die relative Lage von Objekten, d. h. die Geometrie der Objekte, kann durch die Lage von charakteristischen Punkten -

meist werden Eckpunkte gewählt — beschrieben werden.

Die Lage von Punkten könnte durch eine Anzahl geometrischer Grössen zwischen ihnen (z. B. Distanzen) bestimmt werden. Dies ist aber für die meisten Anwendungen nicht praktisch. Einfacher wird die Lage aller Punkte durch Koordinatenwerte in einem vorgegebenen Koordinatensystem festgelegt; daraus können dann alle benötigten Grössen abgeleitet werden.

Punkte werden damit zu den eigentlichen Trägern der metrischen Information.

Die Lage von Punkten wird üblicherweise durch Koordinatenpaare in einem orthogonalen Koordinatensystem dargestellt. In der Schweiz verwendet man meist das System der Landeskoordinaten. Im Rahmen dieser Arbeit wird das Koordinatensystem als eben betrachtet, die grundsätzlichen Ergebnisse werden dadurch aber nicht eingeschränkt. Für das Landinformationssystem wird nur vorausgesetzt, dass die Entfernung zweier Punkte berechnet, Schnittpunkte zweier Linien bestimmt und ähnliche Grundaufgaben der analytischen Geometrie gelöst werden können. Für ein nicht ebenes Koordinatensystem wird die Programmierung der entsprechenden Operationen zwar aufwendiger, am Prinzipiellen ändert sich aber nichts.

3.1.3 Mathematische Koordinaten und Vermessung

In der Vermessung können nur relative Beziehungen zwischen Punkten (Richtungen, Distanzen) gemessen werden. Erst wenn für bestimmte Punkte Koordinatenwerte vorgegeben werden — sogenannte Stützpunkte —, können im damit definierten Koordinatensystem für die andern Punkte Koordinatenwerte berechnet werden.

Messen ist nur mit beschränkter Genauigkeit möglich; typisch für Vermessungsinstrumente ist ein relativer Fehler in der Grössenordnung 10^{-5} . Misst man mehr Grössen, als geometrisch erforderlich sind (sog. Überbestimmung) und unterwirft die Messungen anschliessend einer Ausgleichung, so können die gemessenen Ergebnisse verbessert werden. Gleichzeitig lassen sich Rückschlüsse auf die erreichte Genauigkeit machen und Kontrollen gegen grobe Fehler durchführen (Zuverlässigkeit) [Pelzer 80].

Werden Koordinaten von Punkten als Ergebnisse von Messungen beurteilt, so wird oft vergessen,

dass diese Koordinaten und die dafür berechneten Genauigkeitsmasse nicht nur von der Genauigkeit der Messungen, sondern auch von den für die Stützpunkte eingeführten Koordinatenwerten und deren Standardabweichungen abhängen (sogenanntes Datumsproblem). Diese Zusammenhänge sind besonders spürbar, wenn Punkt-Koordinaten, die aus verschiedenen Vermessungskampagnen stammen, verglichen werden müssen (vgl. 3.4). Sie schränken die Anwendung der analytischen Methoden, wie sie in 3.3 für eine absolute Geometrie entwickelt werden, stark ein. Genau betrachtet, gehören Punkte, die aus verschiedenen Stützpunkten berechnet werden, verschiedenen Koordinatensystemen an; ([Baarda 76] spricht bildlich von einer Flickendecke); die verschiedenen Systeme müssten über S-Transformationen [Baarda 73] miteinander verbunden werden.

Die heute in der Parzellarvermessung üblichen Verfahren vernachlässigen aus praktischen Gründen meist solche Zusammenhänge und bauen auf stark vereinfachenden Annahmen auf.

Es wäre eine lohnende Forschungsaufgabe, die Praxis der Parzellarvermessung anhand der neueren statistischen Theorien zu überprüfen [Baarda 81] und neue, bessere Methoden, die dank moderner Rechenhilfsmittel praktikabel geworden sind, vorzuschlagen.

Schliesslich muss auch auf die sich aus der begrenzten Rechenschärfe ergebenden Rundungseinflüsse hingewiesen werden. Der im Vermessungswesen verwendete Koordinatenraum ist also nur bedingt mit der Ebene der reellen Zahlenpaare vergleichbar. Dies verunmöglicht z. B., dass sich Strecken immer in zwei exakt gleich lange Hälften teilen lassen oder - praxisnäher - dass die Summen der Teilflächen aus einer Parzellenteilung immer genau der Fläche der Ausgangsparzelle entspricht.

Weil wir die exakte Geometrie der Objekte weder genau messen noch weiterverarbeiten können, müssen wir für verschiedene Zwecke verschiedene Vereinfachungen einführen.

Mit gemessener Geometrie bezeichnen wir die Darstellung, die die Ergebnisse der Messungen möglichst genau wiedergeben. Die absolute Geometrie dagegen beschreibt geometrische Sachverhalte so, dass sie innerhalb eines Land-

informationssysteme vergleichbar werden, unabhängig von ihrer Herkunft

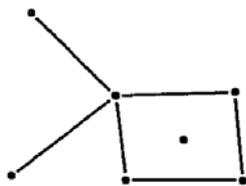
3.1.4 Topologie

Sind gewisse Bedingungen erfüllt, so werden Mengen in der Mathematik als topologische Räume angesprochen. Die Menge der Punkte im zweidimensionalen Koordinatenraum erfüllt diese Bedingungen ohne Zweifel.

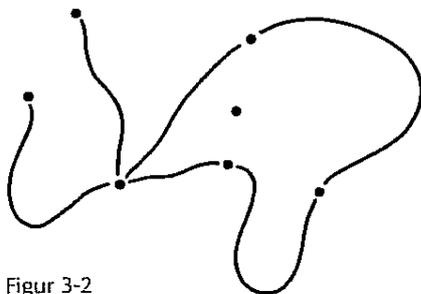
Die Topologie untersucht unter anderem Eigenschaften von Räumen, die gegenüber stetigen (topologischen) Abbildungen unveränderlich sind, wozu sämtliche im Vermessungswesen üblicherweise verwendeten Abbildungen gehören. Solche invariante Eigenschaften erlauben, wichtige Aussagen über die gegenseitige Lage geometrischer Objekte zu formulieren.

Topologie kann volkstümlich als «was von Geometrie auf einem Luftballon übrigbleibt» erklärt werden. Das heisst, dass nur die gegenseitige Lage von Linien und Punkten erhalten bleibt; andere Eigenschaften, wie Form der Linie, Länge usw. verändern sich, wenn der Luftballon aufgeblasen wird (= stetige Abbildung der Ballonhaut auf sich selber).

Die Figur 3-1 und die Figur 3-2 zeigen die gleichen topologischen Eigenschaften. Sie können durch eine stetige Abbildung ineinander übergeführt werden.



Figur 3-1



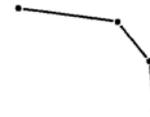
Figur 3-2

Hingegen sind die Figuren 3-3 und 3-4 topologisch

nicht gleich; keine stetige Abbildung kann die eine in die andere überführen.



Figur 3-3



Figur 3-4

Obgleich die in der Geodäsie üblichen Abbildungen (Kartenprojektionen, Helmerttransformation usw.) wohl alle in die Klasse der topologischen Abbildungen fallen, sind topologische Beziehungen im Vermessungswesen bis heute selten bewusst verwendet worden. Das hängt damit zusammen, dass man viele Probleme bisher graphisch behandelte, was eine unbewusste Interpretation der topologischen Beziehungen durch den Menschen ermöglicht. Deshalb war eine topologische Untersuchung im allgemeinen nicht notwendig. Eine Ausnahme machen etwa die Regeln für die Bestimmung der Anzahl der Bedingungsgleichungen in Triangulationsnetzen.

Für die Beschreibung topologischer Phänomene werden hier die in der deutschsprachigen Literatur über Graphentheorie verwendeten Bezeichnungen.

Knoten für einen Punkt

Kante für eine (beliebig geformte) Verbindung zwischen zwei Knoten

verwendet [Pert 81].

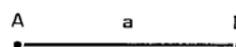
Weil (in der Terminologie der Vermesser) mehrere Punkte an einer Stelle des Raumes vorkommen können, führen wir den Begriff *Knoten* so ein, dass niemals zwei *Knoten* am gleichen Ort vorkommen. Einem *Knoten* müssen also mehrere Punkte zugeordnet werden können (vgl. 3.5.2).

Die wichtigsten topologischen Beziehungen zwischen *Knoten*, *Kanten* und *Flächen* sind:

- *Inzidenz*: eine *Kante* beginnt oder endet in einem *Knoten*
- *Adjazenz*: zwei *Knoten* sind durch eine *Kante* verbunden und
- die *Nachbarschaft* von *Flächen*.

Beispiele: A und B sind inzident mit a.

A ist adjazent zu B.



Figur 3-5

Die Beschreibung der Topologie soll eindeutig sein (vgl. 3.4.2 und 3.5.2).

Kapitel 3.2

Geometrische Primitive

3.2.1 Knoten

3.2.2 Knoten als Träger der metrischen Informationen

3.2.3 Kanten

3.2.4 Beziehungen zwischen Knoten und Kanten

3.2.5 Typen von Kanten

3.2.6 Richtung von Kanten

3.2.7 Flächen

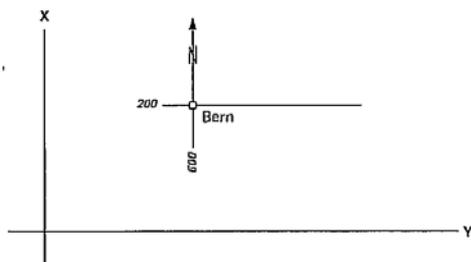
Knoten und Kanten sind die einfachsten geometrischen Elemente, die wir als geometrische Primitive bezeichnen. Mit ihnen beschreiben wir die geometrischen Sachverhalte. Knoten tragen die metrische Information; sie wird mit Hilfe von Koordinatenpaare dargestellt. Die topologischen Eigenschaften können als Beziehungen zwischen den geometrischen Primitiven (Knoten und Kanten) erfasst werden.

3.2.1 Knoten

Die Wahl des Knotens als geometrisches Primitiv benötigt kaum eine weitere Begründung. Der Punkt als null-dimensionales Element steht schon bei den euklidischen Axiomen an der Spitze.

3.2.2 Knoten als Träger der metrischen Informationen

Trotz der in 3.1.3 und später in 3.4.2 erwähnten Probleme wird aus praktischen Gründen zur Charakterisierung der relativen Lage von Punkten auf Punktkoordinaten abgestellt.



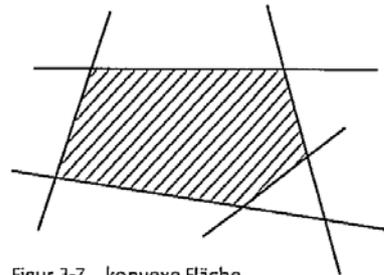
Figur 3-6 Schweizerisches Landeskoordinatensystem

3.2.3 Kanten

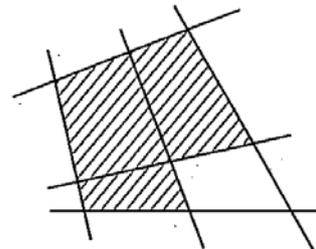
In der ebenen euklidischen Geometrie sind Punkt und Gerade die grundlegenden Elemente, aus denen die andern abgeleitet sind.

Es scheint aber nicht zweckmässig, Geraden als geometrisches Primitiv eines Landinformati-

systems einzuführen: Die in einem Landinformationssystem auftretenden Flächen sind im allgemeinen nicht konvex. Sie lassen sich deshalb nicht einfach mit begrenzenden Geraden beschreiben. Die Manipulation entsprechender Systeme von linearen Ungleichungen wäre schwierig.



Figur 3-7 konvexe Fläche



Figur 3-8 nicht konvexe Fläche

Hilfreicher ist ein anderer Begriff aus der Topologie: der Kurvenbogen. Er bezeichnet zusammenhängende, beschränkte, abgeschlossene und eindimensionale Gebilde, die man sich leicht als Verallgemeinerung der Begriffe Strecke, Bogenstück usw. vorstellen kann. Wir nennen Kurvenbogen, unabhängig von ihrer Form, Kanten.

3.2.4 Beziehungen zwischen Knoten und Kanten

Die Beziehungen zwischen Knoten und Kanten kann man einfach beschreiben:

Zu jeder Kante gehören ein Anfangs- und ein Endknoten (allgemein auch etwa als die beiden Endknoten bezeichnet).

In einem Knoten können beliebig viele Kanten anfangen oder enden.

3.2.5 Typen von Kanten

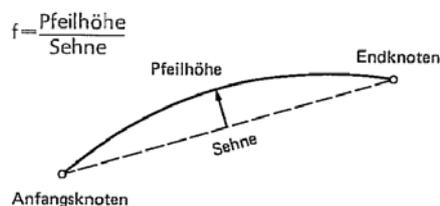
Kanten sind allgemeine mathematische Kurven. Wir unterscheiden aus praktischen Gründen zwei Typen:

3.2.5.1 Kanten mit mathematisch beschreibbarer Form

Diese werden durch *Anfangsknoten*, *Endknoten* und *Charakteristik der Form* vollständig beschrieben. Im Vordergrund stehen dabei

Geradenstücke und Kreisbogen,

wobei Geradenstücke als Spezialfälle eines Kreisbogens (Radius = ∞) aufgefasst werden. Die Form f kann z. B. durch das Verhältnis



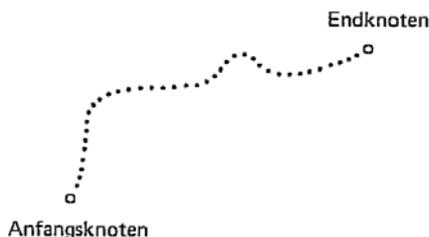
Figur 3-9 Kreisbogen

angegeben werden, was folgende Vorteile bietet

- $f=0$: Gerade,
- $0 < f < \frac{1}{2}$: Kreisbogen (maximal Halbkreis),
- f ist invariant gegen Massstabsänderungen.

3.2.5.2 Beliebige geformte Kurven

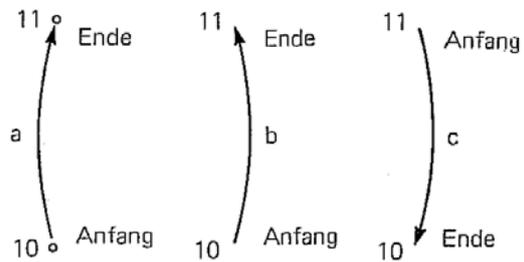
Diese werden durch *Anfangs-* und *Endknoten* und durch eine Anzahl Zwischenpunkte beschrieben. Die Zwischenpunkte werden nicht als Knoten betrachtet, sondern dienen ausschliesslich zur Bestimmung der Form der Kante.



Figur 3-10 Beliebige geformte Kurve

3.2.6 Richtung von Kanten

Zur Beschreibung der Form von Kanten ist es notwendig, für jede Kante einen Richtungssinn festzulegen.



Figur 3-11

Die Form der Kante a in Figur 3-11 unterscheidet sich nur durch ihre Richtung von der Form der Kante b ; die Kante c hat denselben Parameter zur Beschreibung der Form wie a .

Zweckmässigerweise wird der Parameter zur Beschreibung der Form so gewählt, dass

$$\text{form}(\vec{AB}) = -\text{form}(\vec{BA})$$

gilt, was für das vorher eingeführte f = (Pfeilhöhe/Sehne) leicht erreichbar ist.

Die meisten Kanten in einem Landinformationssystem haben von ihrer Bedeutung her keine Richtung – z. B. Hauskanten, Baulinien usw. –. In diesen Fällen bleibt dem Benutzer die zufällig gewählte, intern verwendete Richtung der Kante vollständig verborgen. Bei Kanten, die Gegenstände mit einer Richtung beschreiben – z. B. Kanalisationsleitungen kann die intern benutzte Richtung die für die Anwendung bedeutungsvolle Richtung angeben.

3.2.7 Flächen

Es ist nicht notwendig, Flächen bereits als geometrische Primitive einzuführen, da es leicht fällt, die in Landinformationssystemen auftretenden Flächen durch eine geschlossene Folge von Kanten zu beschreiben. Als Hilfsfigur hingegen wird ein Rechteck, dessen Seiten parallel zu den Koordinatenachsen sind und das direkt durch vier charakteristische Koordinatenwerte beschrieben wird, gute Dienste leisten (vgl. 6.2.3).

Kapitel 3.3

Metrische Operationen mit geometrischen Primitiven

3.3.1 Begriff der Metrik

3.3.2 Distanzen zwischen den geometrischen Primitiven

3.3.3 Distanzen zwischen zwei Punkten

3.3.4 Distanz zwischen Punkt und Kante

3.3.5 Distanz zwischen zwei Kanten

3.3.6 Zusammenfassung

Zuerst wird die anzuwendende euklidische Metrik beschrieben. Danach werden die metrischen Operationen: «Abstand zwischen zwei Punkten», «Abstand eines Punktes von einer Kante» und ähnliche für die geometrischen Primitiven erklärt.

3.3.1 Begriff der Metrik

Räume, in denen zwischen zwei Punkten eine Distanz gemessen werden kann, werden metrische Räume genannt, was nach Ziffer 3.1.2 für den hier benützten Koordinatenraum erfüllt ist. Die zur Distanzberechnung benützte Funktion

$d(P_1, P_2)$ muss folgende Eigenschaften aufweisen:

Für drei beliebig gewählte Punkte P, Q, R gilt

- (1) $d(P, Q)=0$ genau dann, wenn $P=Q$
- (2) $d(P, Q)=d(Q, P)$ (Symmetrie)
- (3) $d(P, Q) \leq d(P, R)+d(R, Q)$ (Dreiecksungleichung)

Verschiedene Distanzfunktionen sind denkbar; für praktische Zwecke des Vermessungswesens ist aber nur die euklidische Metrik, die mit dem natürlichen Distanzbegriff übereinstimmt, anwendbar:

$$d(P, Q) = \sqrt{\sum_i (P_i - Q_i)^2}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

n = Anzahl Dimension des Raumes

(im folgenden immer 2)

$P_i = i$ -te Koordinate von P

3.3.2 Distanzen zwischen den geometrischen Primitiven

Die Bestimmung der Distanz zwischen zwei geometrischen Primitiven kann zwei verschiedenen Zwecken dienen:

- Wir sind an der Distanz als Ergebnis interessiert.
- Wir sind nur daran interessiert, ob die Distanz signifikant von Null verschieden ist, z. B. ob zwei Punkte zusammenfallen, was uns eine topologische Beziehung liefert

3.3.3 Distanzen zwischen zwei Punkten

Die Bestimmung der euklidischen Distanz zwischen zwei Punkten, gegeben durch ihre Koordinaten, bietet keine Probleme:

$$d = \sqrt{(y_1 - y_2)^2 + (x_1 - x_2)^2}$$

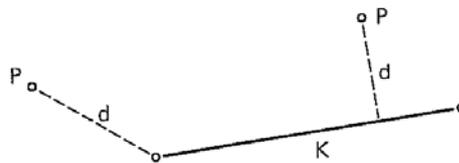
Ist die Distanz Null, so muss nach (1) in 3.3.1 geschlossen werden, dass die beiden Punkte identisch sind.

Sofern die Koordinaten mit Angaben über ihre Genauigkeit (Standardabweichung, Kovarianz-Matrix o.ä.) versehen sind, können wir auch Genauigkeitsmasse für die abgeleitete Distanz berechnen und allenfalls die Distanz auf signifikantes Abweichen von Null testen.

3.3.4 Distanz zwischen Punkt und Kante

Die Distanz zwischen zwei Punkten ist das Minimum der Länge aller möglichen Wege zwischen diesen Punkten. Diese in der Dreiecksungleichung ausgedrückte Minimum-Idee wird für die Bestimmung der Distanz zwischen Punkt und Kante erweitert, so dass die Distanz zwischen Punkt und Kante die Distanz zwischen dem gegebenen Punkt und dem am nächsten liegenden Punkt der Kante ist:

$$d(P, K) = \text{MIN} (d(P, k_i))$$
$$k_i \in K$$



Figur 3-12 Distanz Punkt—Kante

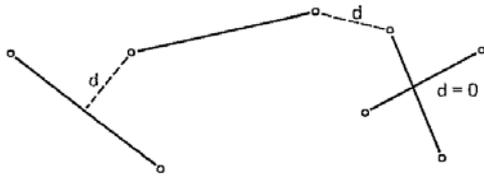
Damit ist diese Aufgabe auf die Bestimmung der Distanz zwischen zwei Punkten zurückgeführt.

Nach der in (3.3.3) erwähnten Methode kann nun getestet werden, ob diese Distanz Null ist, d. h. der gegebene Punkt in der Kante liegt.

3.3.5 Distanz zwischen zwei Kanten

Auch hier wird die Distanz zwischen zwei Kanten als minimale Distanz zwischen zwei Punkten aus je einer Kante definiert. Ist die Distanz gleich Null, so haben wir einen Schnittpunkt gefunden. Im allgemeinen Fall (gekrümmte Kanten) können sich mehrere Schnittpunkte ergeben.

Ist die Distanz zur andern Kante für alle Punkte einer Kante Null, so fällt die eine Kante mit der andern zusammen.



Figur 3-13 Distanz Kante—Kante

3.3.6 Zusammenfassung

Wir haben drei grundlegende metrische Operationen zwischen den geometrischen Primitiven gefunden:

- Distanz (Punkt-Punkt)
- Distanz (Punkt-Kante)
- Distanz (Kante-Kante)

Für jede dieser drei Operationen kann auch getestet werden, ob die berechnete Distanz signifikant von Null abweicht. Damit erhalten wir folgende metrische Tests:

- Identisch (Punkt-Punkt)
- Liegt auf (Punkt-Kante)
- Schnittpunkt (Kante-Kante)
- Zusammenfallen (Kante-Kante)

Daneben sind noch einige weniger grundlegende Operationen (z. B. Reihenfolge von mehreren Punkten auf einer Kante) bei der Implementierung erforderlich. Auch diese müssen so erklärt werden, dass sie nicht nur für Geradenstücke, sondern für alle möglichen Kantenformen definiert sind.

Selbstverständlich werden für die Implementierung dieser Operationen die Methoden der analytischen Geometrie soweit als möglich herangezogen. Da die Suche nach optimalen geometrischen Algorithmen nicht Ziel dieser Arbeit ist, wird diese Frage nicht weiter verfolgt.

Kapitel 3.4

Ableitung der eindeutigen, absoluten Geometrie

3.4.1 Bestimmung von Lage und Form durch Vermessung

3.4.2 Absolute Geometrie

3.4.3 Topologische Beziehungen bei fehler-freier Geometrie

3.4.4 Topologische Beziehungen aus gemessener Geometrie

3.4.5 Überprüfung von Konsistenzbedingungen

Jeder Messvorgang ist mit unvermeidlichen Fehlern behaftet. In diesem Kapitel werden die dadurch

entstehenden Schwierigkeiten erwähnt. Aus Messergebnissen lassen sich die topologischen Beziehungen nicht sicher herleiten, sondern in Zweifelsfällen ist ein Entscheid des Bearbeiters notwendig. Daraus folgt, dass die explizite Speicherung der topologischen Beziehungen notwendig ist.

3.4.1 Bestimmung von Lage und Form durch Vermessung

Die Verfahren der Vermessung erlauben, die Lage und Form von Objekten der Welt nur mit beschränkter Genauigkeit zu erfassen. Wir nennen dies die gemessene Geometrie der Objekte [Tamminen 81b]; sie wird im allgemeinen durch Koordinatenwerte ausgedrückt.

Wird das gleiche Objekt mehrmals vermessen, so müssen wir erwarten, dass die entsprechenden gemessenen Geometrien leicht voneinander abweichen. In vielen Fällen sind auch die für die Berechnung verwendeten Koordinatensysteme nicht durch die gleichen Stützpunkte definiert und somit die Koordinatenwerte, insbesondere deren stochastische Angaben (Kovarianzmatrix), nicht ohne weiteres vergleichbar.

3.4.2 Absolute Geometrie

Damit die in einem Landinformationssystem gespeicherten geometrischen Sachverhalte eindeutig (unambiguous [Tamminen 81a]) interpretiert werden können, muss für jedes Objekt eine eindeutige absolute Geometrie festgelegt werden.

Unter absoluter Geometrie wird hier die in einem *einheitlichen* Koordinatensystem erfasste Lage der Objekte eines Landinformationssystems und deren Form verstanden.¹ In diesem Koordinatensystem müssen die üblichen Operationen, wie Berechnen der Distanz zweier Punkte u. a., ohne Einschränkungen möglich sein.²

Es werden im Rahmen dieser Arbeit absichtlich keine fehlertheoretischen Aussagen über die

¹ [Tamminen 81a] verwendet statt "absolute Geometrie" den Begriff «abstrakte Geometric» mit einer sehr ähnlichen Bedeutung.

² In den meisten Fällen können die heute von der Vermessung bereitgestellten Landeskoordinaten direkt in das hier beschriebene Koordinatensystem der absoluten Geometrie übernommen werden.

absolute Geometrie gemacht und die Transformation gemessener Geometrie in absolute Geometrie kann nach den in der Vermessung üblichen Methoden erfolgen.

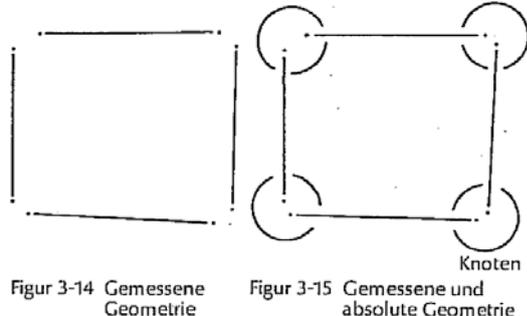
Die minimal notwendige Vereinheitlichung, die zur sicheren Interpretation der gespeicherten Geometrie notwendig ist, wird nicht durch statistische, sondern durch A-priori-Entscheidungen des Bearbeiters vorgenommen, z. B. zwei Punkte sind identisch, ein Punkt liegt auf einer Linie. Diese Entscheidungen werden bei der Speicherung der Daten eines Objekts getroffen.

Solange die in einem Landinformationssystem verarbeiteten Daten aus ähnlichen Quellen stammen und relativ homogen sind, dürfte dieser Ansatz kaum Schwierigkeiten bieten. Viele Entscheidungen werden durch die Zuordnung von Punktnummern usw. bereits vorweggenommen, und nur in Ausnahmefällen wird eine zusätzliche Eingabe des Bearbeiters erforderlich sein.

Wichtig für die Interpretation ist vor allem, dass die topologischen Beziehungen zwischen Knoten und Kanten vollständig erfasst sind.

Als einfaches Beispiel: die Berechnung der Fläche, die durch vier Kanten begrenzt ist, ist prinzipiell nur in Figur 3-15 möglich, weil das abstrakte Zusammenfallen der Endknoten der Kanten durch die Einführung absoluter Knoten bestimmt wurde.

In Figur 3-14 liegt keine abgegrenzte Fläche vor.



Figur 3-14 Gemessene Geometrie

Figur 3-15 Gemessene und absolute Geometrie

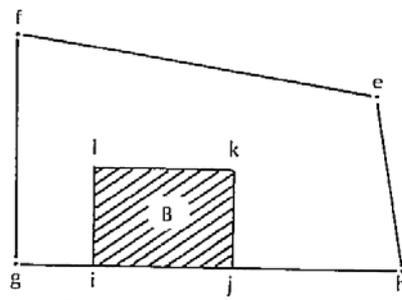
Beim Speichern der Kanten in Figur 3-15 wird vom Benutzer entschieden, dass jeweils die Endpunkte zweier Kanten zusammenfallen und den gleichen abstrakten Knoten bezeichnen.

Dieses Verlangen nach eindeutiger Bezeichnung der Knoten entspricht durchaus der täglichen Lebenserfahrung, wo wir uns sehr häufig darum bemühen, für Dinge, die unter verschiedenen Namen auftreten, aber dasselbe bezeichnen, feststehende Begriffe einzuführen (vgl. [Kent 78]). Man stelle sich nur einmal das Chaos an einer Hochschule vor, wenn sich ein und derselbe Student unter verschiedenen Namen einschreiben könnte (ohne dass die Identität durch eine andere Bezeichnung ausgedrückt würde). Nicht einmal so einfache Dinge wie das Bestimmen der Zahl der

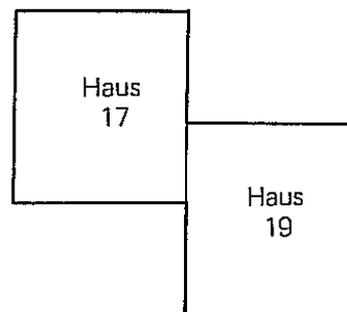
Studenten wären mehr möglich.

Entsprechende Erfahrungen übertragen wir auf die geometrischen Verhältnisse:

Auch wenn in Figur 3-16 die durch die Grenzpunkte gegebene Parzellenlinie g-h scheinbar (numerisch) nicht genau mit der durch die Hausecken gegebenen Hauslinie i-j zusammenfällt, muss - für absolute Geometrie - die Aussage, dass das Haus auf der Grenze steht, rekonstruiert werden, damit z. B. die Abfrage «zeige alle Häuser, die auf die Parzellengrenze gebaut sind», beantwortet werden kann. Dann führt auch die Konsistenzprüfung, ob das Haus vollständig innerhalb der Parzelle liegt, zu einem positiven Resultat, auch wenn die Hausecken wegen Rundungseinflüssen numerisch um Bruchteile einer Einheit jenseits der Parzellengrenze zu liegen kommen (in der gemessenen Geometrie). Ohne dass diese Identität bekannt ist, darf das Linienstück i-j nicht unter zwei verschiedenen Namen (nämlich als i-j und als Teil von g-h) vorkommen. Im übrigen sind wir auch bei der graphischen Darstellung gewohnt, dass die Zeichnung den abstrakten Sachverhalt darstellt. Beispielsweise wird die Hauskante zwischen zwei Häusern anders dargestellt (im allgemeinen feinerer Strich) als die Umrisskante (Figur 3-17).



Figur 3-16 Parzelle mit Haus



Figur 3-17

3.4.3 Topologische Beziehungen bei absoluter Geometrie

Die topologischen Beziehungen lassen sich aus den metrischen Daten der absoluten Geometrie mit Hilfe der in Kapitel 3.3 definierten Operationen ableiten:

Identität eines Knotens:

zwei Punkte, zwischen denen die Distanz Null ist, sind identisch und bilden *einen* Knoten.

Inzidenz einer Kante mit einem Knoten:

eine Kante, für die zwischen dem einen Endpunkt und einem Knoten die Distanz Null ist, ist mit diesem Knoten inzident.

3.4.4 Topologische Beziehungen bei gemessener Geometrie

Der Übergang von der gemessenen Geometrie zur absoluten Geometrie kann in der heutigen Praxis kaum anders erfolgen, als dass man aus den stark vereinfachten stochastischen Beschreibungen der Punktkoordinaten mit statistischen Tests diejenigen Punkte herausucht, bei denen vermutet wird, dass sie möglicherweise mit einem andern Punkt oder einer Kante zusammenfallen. Es ist dann Sache des Bearbeiters, auf Grund seiner Sachkenntnis zu entscheiden, ob die beiden Punkte den gleichen Knoten meinen oder nicht.

Diese Entscheidung muss gespeichert werden, damit sie für die spätere Verarbeitung, insbesondere die Prüfung von Konsistenzbedingungen zur Verfügung steht.

Folgerung

In Fallen, bei denen eine gemessene Geometrie mit fehlerbehafteten Koordinaten vorliegt, sind in den topologischen Beziehungen selbständige Informationen enthalten, die nicht immer aus den metrischen Beziehungen abgeleitet werden können. Ihre explizite Speicherung ist deshalb notwendig.

3.4.5 Überprüfung von Konsistenzbedingungen

Werden die topologischen Beziehungen beim Speichern eines geometrischen Objektes mit gespeichert, so stehen diese nachher für die Überprüfung der Konsistenzbedingungen zur Verfügung. Dies macht diese Prüfungen weniger aufwendig, indem Tests mit gespeicherten topologischen Beziehungen wesentlich einfacher sind, als wenn diese zuerst aus den Koordinaten

abgeleitet werden müssten.

Es ist damit auch postuliert, dass geometrische Konsistenzbedingungen soweit als möglich mit Hilfe topologischer Beziehungen formuliert werden sollten.

Kapitel 3.5

Konsistenzbedingungen:

Eindeutigkeit und Vollständigkeit für geometrische Primitive

3.5.1 Metrische und topologische Beziehungen

3.5.2 Eindeutigkeit von Knoten

3.5.3 Inzidenz von Knoten mit Kanten

3.5.4 Geometrische Konsistenzbedingungen für Kanten

3.5.5 Eindeutigkeit von Kanten

3.5.6 Schneiden von Kanten

Damit die gespeicherten Daten leicht mit Programmen ausgewertet werden können, müssen die Sachverhalte *eindeutig* und *vonständig* beschrieben sein.

Deshalb soll nun die Struktur einfacher geometrischer Sachverhalte als Beziehungen zwischen Knoten und Kanten beschrieben werden. Neben diese Beziehungen treten zusätzlich Regeln, die die Interpretierbarkeit der gespeicherten Daten sichern.

Eindeutigkeit verlangt, dass *einem* Objekt der Wirklichkeit nur *ein* gespeichertes Objekt entspricht. Um dies zu erreichen, haben wir den Punkten, von denen manchmal mehrere an einer Stelle im Raum vorkommen, eindeutige Knoten zugeordnet. *Vollständigkeit* heisst, dass *alle* (bekannten) Beziehungen explizit *gespeichert* sind und keine weiteren existieren.

Die daraus folgenden Regeln sind die grundlegenden Konsistenzbedingungen für die geometrischen Primitive; sie bilden die erste, hierarchisch tiefste Schicht beim Aufbau der geometrischen Konsistenzbedingungen.

3.5.1 Metrische und topologische Beziehungen

Sowohl die metrischen als auch die topologischen Beziehungen müssen gespeichert werden. Dabei wird darauf geachtet, dass möglichst wenig Redundanz eingeführt wird.

Knoten

Die Knoten tragen die metrische Information (als Koordinatenwerte).

Kanten

Die Kanten tragen die Information über die Form der Linie.

3.5.1.1 Kanten — Knoten — Beziehung

Kanten enden beidseits in Knoten.

Für gerade Kanten reicht damit ein Verweis auf die inzidenten Knoten; eine spezielle Angabe von Koordinaten ist nicht erforderlich. Für Kanten mit andern Formen kann entweder die Form durch Parameter beschrieben werden, oder es wird eine Menge von Punkten zur angenäherten Beschreibung verwendet.

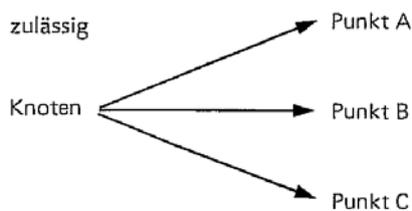
3.5.1.2 Komplexere topologische Beziehungen

Komplexere topologische Beziehungen lassen sich aus der Inzidenz von Knoten und Kanten leicht ableiten.

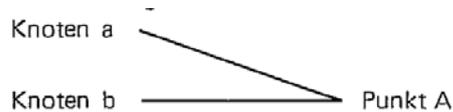
Beispiel: Zwei Knoten sind adjazent (d.h. sind durch eine Kante verbunden), wenn es eine Kante gibt, für die der eine Knoten Anfangsknoten und der andere Knoten Endknoten ist.

3.5.2 Eindeutigkeit von Knoten

Die gespeicherten Knoten können *verschiedenen Punkten* der Wirklichkeit entsprechen. Es ist aber nicht zulässig, dass der gleiche Punkt der Wirklichkeit mehrfach als unterscheidbarer Knoten, sei es mit den gleichen oder verschiedenen Koordinaten, gespeichert wird. Es können aber allenfalls einem Knoten verschiedene Koordinaten zugeordnet werden, sofern eine klare Vorschrift besteht, wann welche zu verwenden sind.



nicht zulässig



Figur 3-18

Eindeutigkeit für Knoten:

Einem Punkt der Wirklichkeit entspricht genau ein gespeicherter Knoten.

3.5.3 Inzidenz von Knoten mit Kanten

Soll ein Knoten in eine Kante fallen, so muss dies explizit angegeben werden.

Damit die Programmierung auf einer einfachen Logik aufbauen kann, verlangen wir, dass auch die Umkehrung gilt:

Ist ein Knoten nicht als mit einer Kante inzident gespeichert, so fällt er nicht in diese.

Damit wird erreicht, dass Programme aus der Nicht-Existenz eines Sachverhaltes (Knoten ist nicht als inzident gespeichert) direkt auf die Negation schliessen können (Knoten ist nicht inzident).

Vollständigkeit der Inzidenzen:

Alle Inzidenzbeziehungen zwischen Knoten und Kanten sind explizite gespeichert

3.5.4 Geometrische Konsistenzbedingungen für Kanten

Eine Kante ist als Zug von Strecken oder als Kurvenbogen erklärt. Kanten sind, mathematisch formuliert,

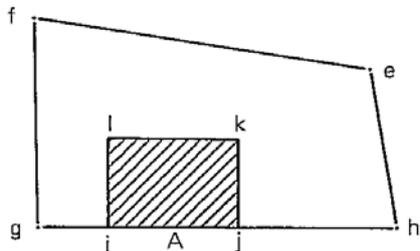
- unverzweigt,
- zusammenhängend,
- beschränkt,
- abgeschlossen,
- eindimensional,

was, einfach ausgedrückt, etwa bedeutet, dass sie einen Anfang und ein Ende haben und dazwischen keine Lücken oder Verzweigungen vorkommen.

3.5.5 Eindeutigkeit von Kanten

Für Kanten fordern wir ähnlich, wie für Knoten, dass an *einer* Stelle im Raum nur *eine* Kante mit der gleichen Richtung sei (vgl. 3.4.2). Dies ist weniger offensichtlich, denn die Figur 3-19 kön-

nen wir unterschiedlich (ambiguous) interpretieren:



Figur 3-19 Parzelle und Haus

- wir unterscheiden zwischen der Parzellengrenze von g nach h und der Hauskante von i nach j und sehen an der Stelle A zwei verschiedene Kanten oder
- an der Stelle A sehen wir nur eine Kante, die gleichzeitig Parzellengrenze und Hauskante darstellt, wobei die Endknoten dieser Kante nicht eindeutig definiert sind (g-h oder i-j?).

Verlangen wir Vollständigkeit der topologischen Beziehungen, so müssen die Knoten i und j die Kante g-h unterbrechen (explizite Darstellung der Inzidenz Knoten-Kante, vgl. 3.5.3):

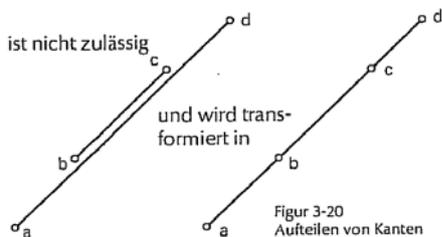
Damit ist klar, dass bei A eine Kante i-j mit zwei verschiedenen Bedeutungen, nämlich «Parzellengrenze» und «Hauskante» der Geometrie von Figur A vorliegt.

Dies führt zu einem leicht interpretierbaren Modell, dessen einziger Nachteil darin besteht, dass die ursprüngliche Kante g-h scheinbar verschwunden ist. Eine Lösung dafür ist einfach und folgt später (vgl. 3.6.2).

Nun lässt sich die Eindeutigkeitsforderung für Kanten formulieren:

Eindeutigkeit für Kanten:

An keiner Stelle des Raumes befinden sich zwei Kanten mit gleicher Lage und Form.



Figur 3-20

Diese Regel ist eng verbunden mit der Regel «Vollständigkeit der Inzidenzen», indem diese Vollständigkeit der Inzidenzen verlangt, dass die Inzidenz der Knoten b und c mit der Kante a-d

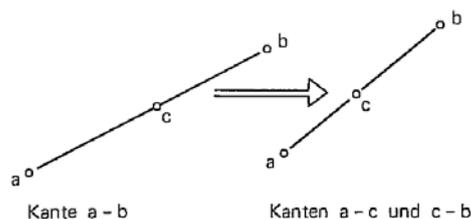
gespeichert wird. Durch das Aufteilen a-d in a-b, b-c und c-d erfolgt dies automatisch.

Die Regel «Vollständigkeit der Inzidenzen» muss nun bestimmter formuliert werden:

Vollständigkeit der Inzidenz:

Jeder Knoten, der mit einer Kante inzident ist, ist Anfangs- oder Endknoten dieser Kante.

Ein Knoten, der in eine Kante fällt, teilt diese somit in zwei Teilkanten.



Figur 3-21 Teilen einer Kante durch Knoten

Nun kann auch die Eindeutigkeitsforderung Kanten einfacher formuliert werden:

Eindeutigkeit für Kanten:

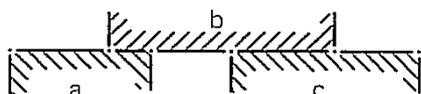
Zwischen zwei Knoten gibt es höchstens eine Kante mit der gleichen Form.

Diese beiden Forderungen lassen sich leicht in Programme umsetzen.

Hier sollen noch einige Alternativen diskutiert und deren Nachteile aufgezeigt werden:

- Speicherung der beiden Kanten g-h und i-j (Figur 3-19) unabhängig voneinander. Die Tatsache, dass i und j in der Kante g-h liegen, wird damit nicht ausgedrückt und muss allenfalls durch Untersuchung der Koordinaten gefolgert werden (verletzt die in 3.5.3 aufgestellte Regel).
- Speichern der beiden Kanten mit einem Hinweis, dass sie zusammenfallen. Zusammenfallen von Kanten ist nicht transitiv (d. h. wenn in Figur 3-22 a mit b und b mit c zusammenfällt, kann nicht geschlossen werden, dass a mit c zusammenfällt) und es muss jede zusammenfallende Strecke ein-

zeln mit Anfangs- und Endknoten usw. gespeichert werden.

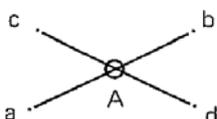


Figur 3-22 Drei teilweise zusammenfallende Kanten

Wird die Alternative b nach den Regeln für den Entwurf von Datenbank-Schemata weiterbehandelt [Zehnder 81, 5.38ff.], so erhalten wir die vorne formulierte Eindeutigkeitsforderung für Kanten.

3.5.6 Schneiden von Kanten

Es wird für die Anwendung in Landinformationssystemen nicht generell verlangt, dass sich die gespeicherten Kanten nicht schneiden dürfen, d. h. dass alle Schnittpunkte als Knoten gespeichert werden müssen. Dies brächte eine deutlich fühlbare Vergrößerung der Anzahl der gespeicherten Knoten mit sich, ohne dass etwas gewonnen würde.



Figur 3-23

Die Kanten a-b und c-d in Figur 3-23 sind zulässig, sofern bei A kein bedeutungsvoller Schnittpunkt entsteht (z. B. a-b ist eine überirdische Hochspannungsleitung und c-d eine Wasserleitung; der Schnittpunkt hat keine Bedeutung und wird nie verwendet). Schnittpunkte, die keine Knoten sind, nennen wir implizite Schnittpunkte; sie sind nicht gespeichert, sondern müssen bei Bedarf als Schnittpunkt der beiden Geraden berechnet werden.

Hingegen kann man im System definieren, dass Kanten bestimmter Bedeutung sich nicht schneiden dürfen (bzw. dass keine Kante bestimmter Bedeutung eine Kante mit bestimmter anderer Bedeutung schneidet).

Kapitel 3.6

Bedeutung der geometrischen Figuren

3.6.1 «Bedeutung» als Eigenschaft der

geometrischen Primitiven

3.6.2 Beziehungen zwischen den Bedeutungen von Knoten und Kanten

Bisher wurden die unterschiedlichen Bedeutungen, die die in einem Landinformationssystem gespeicherten geometrischen Figuren haben, nicht berücksichtigt, sondern diese Figuren wurden unabhängig von ihrer Bedeutung betrachtet. Hier wird nun gezeigt, wie die verschiedenen Bedeutungen unterschieden werden können.

3.6.1 «Bedeutung» als Eigenschaft der geometrischen Primitiven

Da ein Punkt nur einem absoluten Knoten entsprechen darf, in der Realität aber verschiedene Bedeutungen haben kann, müssen mit jedem Knoten eine oder mehrere Bedeutungen festgehalten werden.

Die Forderung der Eindeutigkeit für die Kantenstücke macht es notwendig, diesen ebenfalls eine oder mehrere Bedeutungen zuordnen zu können.

3.6.2 Beziehungen zwischen den Bedeutungen von Knoten und Kanten

Grundlegend ist die Feststellung, dass jede Kante mit einer bestimmten Bedeutung von zwei Knoten mit der gleichen Bedeutung begrenzt werden muss.

Die gleichen Bedeutungsklassen können damit für Knoten und Kanten benutzt werden. Später wird dieses Konzept auch auf Flächen ausgedehnt.

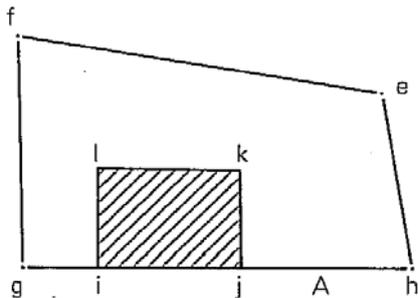
Beispiele von Bedeutungen:

Bedeutung: «Parzelle»
für Knoten → Grenzpunkt
für Kante → Parzellengrenze
für Fläche → Parzelle

Bedeutung: «Polygon»
für Knoten → Polygonpunkt
für Kante → Polygonzug-Seite

Auch bei der Teilung von Kanten muss jede ursprüngliche Kante mit ihrer bestimmten Bedeutung von zwei Knoten mit der gleichen Bedeutung begrenzt sein. Dies erlaubt die Wiederherstellung der ursprünglichen Kanten, die nach der Regel der Vollständigkeit der Inzidenzen (3.5.5) aufgeteilt wurden. Betrachten wir in Figur 3-24 die ursprüngliche Parzellengrenze g-h, die in die Kantenstücke g-i, i-j, j-h aufgeteilt wird, so kann die Kante g-i damit

nicht ursprüngliche Parzellengrenze sein, weil der Knoten i nicht die Bedeutung Grenzpunkt hat. Wir setzen also die Kante $g-i$ mit $i-j$ zusammen und testen erneut, was wiederum zu einem negativen Ergebnis führt; denn j ist ebenfalls nicht Grenzpunkt. Erst $g-h$ kann Parzellengrenze sein; das ist genau die ursprüngliche Grenze.¹



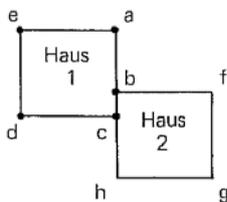
Figur 3-24 Parzelle mit Haus

Das führt auf die Regel

Bedeutung von Knoten und Kanten:

Eine ursprüngliche Kante einer Bedeutung ist beidseits von Knoten dieser Bedeutung begrenzt.

¹ Diese Regel versagt in folgendem Fall:



Figur 3-25 Die beiden Häuser $a-c-d-e$ und $b-h-g-f$ sind aneinandergereiht. Die Kanten $a-c$ und $b-h$ fallen zusammen und werden geteilt in $a-b$, $b-c$, $c-h$. Weil alle Knoten und Kanten die gleiche Bedeutung tragen, gelingt die Wiederherstellung der Kante $a-c$ nicht mehr. Dies scheint nicht besonders störend, denn b darf durchaus als Hausecke von Haus 1 betrachtet werden.

Kapitel 3.7

Topologische Operationen mit «geometrischen Primitiven»

- 3.7.1 Speichern von Knoten
- 3.7.2 Speichern von Kanten
- 3.7.3 Teile Kante, Vereinige Kante
- 3.7.4 Lösche Knoten
- 3.7.5 Lösche Kante
- 3.7.6 Schnittpunkt
- 3.7.7 Abfrageoperationen

Mit den geometrischen Primitiven sind ausser den metrischen nur noch wenige Operationen sinnvoll. Sie liefern als Ergebnis im allgemeinen eine Menge von Kanten oder von Knoten. Diese Operationen müssen selbstverständlich so erstellt werden, dass sie die Konsistenzbedingungen, wie sie vorn in den Kapiteln 3.5 und 3.6 aufgestellt wurden, einhalten.

3.7.1 Speichern von Knoten

Soll ein Punkt gespeichert werden, so muss erstens geprüft werden, ob er nicht mit einem bereits gespeicherten Knoten zusammenfällt (Eindeutigkeit von Knoten)².

Im allgemeinen genügt dazu eine Untersuchung der gespeicherten Knoten mit geringer Distanz zum neuen Punkt, der Entscheidung wird (nach 3.3.3 und 3.4.2) vom Bearbeiter getroffen. Zweitens muss untersucht werden, ob nicht bereits eine Kante existiert, die von diesem Knoten geteilt wird (Vollständigkeit der Inzidenz); diese müsste allenfalls in zwei Teilkanten zerlegt werden.

Auch die Entscheidung, ob ein neuer Knoten auf einer Kante liegt, muss vom Bearbeiter getroffen werden. Das System unterstützt diese Entscheidung, indem kritische Kanten herausgesucht werden.

3.7.2 Speichern einer Kante

Soll eine Kante gespeichert werden, so muss geprüft werden,

- ob Anfangs- und Endknoten bereits gespeichert sind; allenfalls sind diese zu speichern (Kanten-Knoten-Beziehung),
- ob die zu speichernde Kante nicht von einem bereits gespeicherten Knoten geteilt

² Die in 2.1.3 verlangte Eindeutigkeit von Punktnummern macht auch einen Test, ob ein anderer Punkt mit dieser Nummer bereits gespeichert ist, notwendig.

wird (Vollständigkeit der Inzidenzen);
allenfalls sind die beiden entstehenden
Teilstücke als Kanten zu speichern
(Rekursion!),

- Anfangs- und Endknoten der ursprünglichen Kante müssen die gleiche Bedeutung wie die Kanten haben (Bedeutung von Knoten und Kanten).

3.7.3 Teile Kante, Vereinige Kante

Die Operation «Teile Kante» ist identisch mit «Speichere Knoten», indem der teilende Knoten gespeichert wird, was automatisch zum Aufteilen der Kante nach der Regel über die Vollständigkeit der Inzidenzen führt. Der teilende Knoten muss die Bedeutung der zu teilenden Kante haben (Regel über die Bedeutung von Knoten und Kanten). Zwei Kanten werden vereinigt, indem der sie teilende Knoten gelöscht wird (siehe nächster Abschnitt).

3.7.4 Lösche Knoten

- Ein Knoten darf nur gelöscht werden, wenn er
- mit keiner Kante verbunden ist oder
 - von einer geraden Anzahl Kanten berührt wird, die ihn paarweise ohne Änderung von Richtung oder Form passieren, die gleiche Bedeutungen haben und die sich nach ihrer Bedeutung schneiden können (Figur 3-26) (vgl. 3.5.6).

Zur Vereinfachung kann auf dieser Ebene des Programms auf das Löschen von Knoten verzichtet werden. Man kann sich damit begnügen, zu löschende Knoten zu markieren und damit für höhere Ebenen unsichtbar zu machen.



Figur 3-26

3.7.5 Lösche Kante

Es dürfen nur ursprüngliche Kanten, d. h. solche, die zwischen zwei Knoten mit der Bedeutung der zu löschenden Kante liegen, gelöscht werden (Regel über die Bedeutung von Kanten und Knoten).

Eine Kante wird gelöscht, indem die entsprechende Bedeutung für diese Kante gestrichen wird. Eine Kante ohne Bedeutungen kann vollständig entfernt werden.

3.7.6 Schnittpunkt

Zwei Kanten können zum Schnitt gebracht werden. Das Ergebnis ist eine Menge von Knoten.

3.7.7 Abfrageoperationen

- Knoten — Kanten

Zu einem Knoten müssen alle in ihm endenden oder beginnenden Kanten gefunden werden können.

- Kante — Knoten

Zu einer Kante müssen Anfangs- und Endknoten gefunden werden können.

Diese beiden Abfrageoperationen müssen auf Knoten oder Kanten einer bestimmten Bedeutung eingeschränkt werden können.

Kapitel 3.8

Zusammenfassung

Wir wiederholen die in 3.5.1 aufgeführten einfachen geometrischen Sachverhalte mit Knoten und Kanten.

*Knoten tragen die metrische Information
(als Koordinatenwerte).*

*Kanten tragen die Information über Form
der Linien.*

Die Beziehung zwischen Knoten und Kanten ist sehr einfach.

Kanten enden beiseits in Knoten

Sowohl für Knoten als auch für Kanten müssen wir *Eindeutigkeit* fordern, damit die beschriebene Geometrie zur Konsistenzprüfung und für

die Darstellung automatisch interpretiert werden kann. Es muss aber auch erreicht werden, dass die wesentlichen topologischen Beziehungen *vollständig* gespeichert sind und nicht aus den Koordinaten abgeleitet werden müssen.

Die Ableitung von topologischen Eigenschaften aus Koordinatenwerten ist für die absolute Geometrie führt aber bei der gemessenen Geometrie wegen der unvermeidlichen Messfehler nicht zum Ziel. Der Bearbeiter muss A-priori-Entscheidungen fällen, die natürlich mit den Messungen verträglich sein müssen.

Es ist notwendig, ursprüngliche Kanten in Kantenstücke zu unterteilen. Mit Hilfe der den Knoten und Kantenstücken zugeordneten Bedeutungen können die ursprünglichen Kanten als Folge von Kantenstücken wiederhergestellt werden.

Es gelten damit folgende Konsistenzbedingungen für geometrische Primitive:

Eindeutigkeit von Knoten:

Einem Punkt der Wirklichkeit entspricht genau ein Knoten (3.5.2).

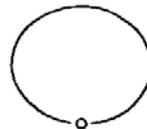
Vollständigkeit der Inzidenzen:

Jeder Knoten, der mit einer Kante inzident ist, ist Anfangs- oder Endknoten dieser Kante¹ (3.5.5).

Eindeutigkeit von Kanten:

Zwischen zwei Knoten gibt es höchstens eine Kante mit der gleichen Form (3.5.5).

Ohne praktische Bedeutung, hingegen an verschiedenen Stellen zur Vereinfachung der Algorithmen beitragend, ist die Vorschrift, dass Anfangs- und Endknoten einer Kante verschieden voneinander sein müssen; sogenannte Schlingen sind damit verboten.



Figur 3-27 Schlinge

Mit diesen geometrischen Primitiven sind folgende Operationen erklärt:

- Speichern eines Knotens
- Speichern einer Kante
- Teile Kante
- Vereinige Kante
- Lösche Knoten
- Lösche Kanten
- Abstand (Knoten—Knoten)
- Abstand (Kante—Knoten)
- Abstand (Kante—Kante)
- Schnittpunkt zweier Kanten
- Finde zu einem Knoten die inzidenten Kanten
- Finde zu einer Kante die Anfangs- und Endknoten

¹ Das heisst: Wird ein Knoten gespeichert, der in einer Kante liegt, so muss diese geteilt werden.

Vierter Teil

Strukturierung zweidimensionaler Sachverhalte:

Geometrische Grundstrukturen

Kapitel 4.1 Was sind geometrische Grundstrukturen?

Kapitel 4.2 Partition

Kapitel 4.3 Hierarchie von Partitionen

Kapitel 4.4 Netz

Die im vorangehenden Teil ausführlich besprochenen geometrischen Primitive werden nun zu grösseren Objekten zusammengesetzt. Im folgenden wird gezeigt, dass mit wenigen typischen Strukturen, geometrische Grundstrukturen genannt, die geometrischen Sachverhalte, wie sie in einem Landinformationssystem vorkommen, beschrieben werden können. Im Vordergrund der Betrachtung stehen auch hier wieder die Datenstrukturen und die einzuhaltenden Konsistenzbedingungen.

Kapitel 4.1

Was sind geometrische Grundstrukturen?

4.1.1 Idee der geometrischen Grundstrukturen

4.1.2 Klassierende Eigenschaften von geometrischen Grundstrukturen

4.1.3 Die 12 möglichen geometrischen Grundstrukturen

4.1.4 Interpretation

4.1.5 Semantik von geometrischen Grundstrukturen

4.1.6 Operationen

4.1.7 Weiteres Vorgehen

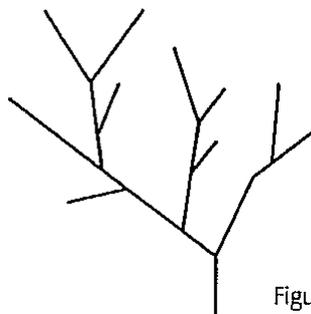
In diesem Kapitel wird anschaulich begründet, was geometrische Grundstrukturen sind, und es werden Beispiele für deren Anwendung gegeben.

4.1.1 Idee der geometrischen Grundstrukturen

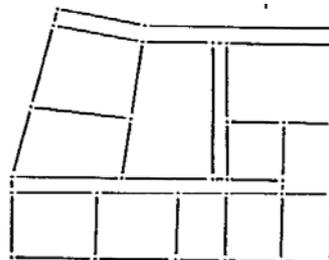
In einem Landinformationssystem werden verschiedene geometrische Informationen gespeichert. Neben der Einteilung der Erdoberfläche in politische Einheiten, in Parzellen, die verschiedenen Eigentümern gehören, oder in Abschnitte, die verschieden genutzt werden, haben wir im ersten Teil auch Leitungsnetze, Strassennetze usw. angetroffen.

Statt dass wir jeden dieser geometrischen Sachverhalte neu untersuchen, neu beschreiben und spezielle Algorithmen dafür entwickeln, sollte es gelingen, Gemeinsamkeiten zu entdecken und diese auszunützen.

Die Struktur eines Gewässernetzes (Figur 4-1)

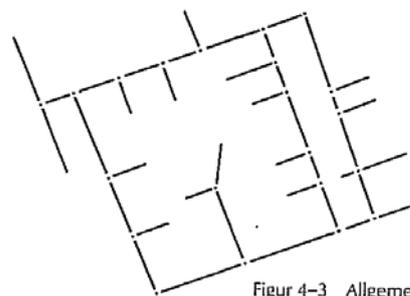


Figur 4-1 Gewässernetz



Figur 4-2 Parzellen

und die Struktur eines Parzellennetzes (Figur 4-2) sind offensichtlich sehr unterschiedlich. Die in den beiden Skizzen intuitiv erkannten Strukturen, die eine Zuordnung zu den Typen «Gewässernetz» oder «Parzellennetz» erlauben haben offenbar beide ihre spezifischen Konsistenzbedingungen. So ist es zum Beispiel nicht möglich, die Figur 4-3 als Parzellen- oder Gewässernetz zu interpretieren!



Figur 4-3 Allgemeines Netz

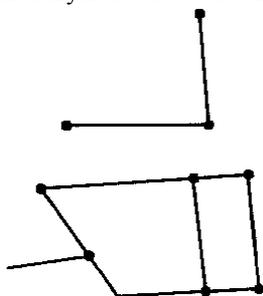
Weil bestimmte Konsistenzbedingungen verletzt sind, entspricht das Bild nicht mehr unserer Anschauung über Parzellen oder Gewässer. Andererseits ergibt sich, dass nicht für die Darstellung jedes Sachverhaltes eine neue geometrische Grundstruktur erforderlich ist. Figur 4-2 kann auch als Einteilung eines Kantons in Gemeinden oder eines Gewannes einer Güterzusammenlegung in Flächen gleicher Bonitierung interpretiert werden.

Es gilt festzustellen, welche geometrischen Grundstrukturen zur Darstellung der in einem Landinformationssystem zu erfassenden Sachverhalte geeignet sind, und dann deren Konsistenzbedingungen zu beschreiben.

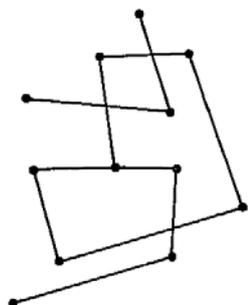
4.1.2 Klassierende Eigenschaften von geometrischen Grundstrukturen

An einigen zufällig ausgewählten Strukturen wurden die charakteristischen Merkmale (geometrische Konsistenzbedingungen) herausgearbeitet:

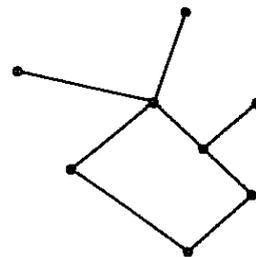
- Kanten schneiden sich nicht/Kanten schneiden sich
- Kanten zusammenhängend/Kanten nicht zusammenhängend
- keine Zyklen/Zyklen erlaubt/nur Zyklen



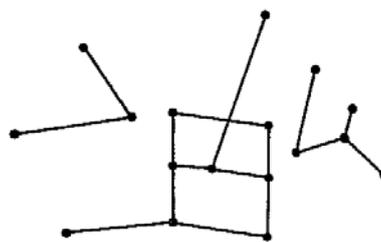
Figur 4-4 Kanten schneiden sich nicht



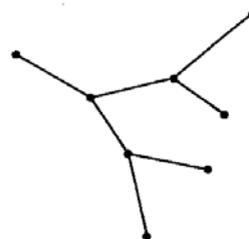
Figur 4-5 Kanten schneiden sich



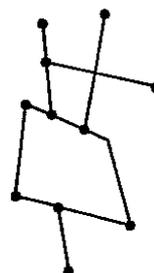
Figur 4-6 zusammenhängend



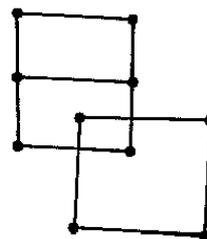
Figur 4-7 nicht zusammenhängend



Figur 4-8 keine Zyklen



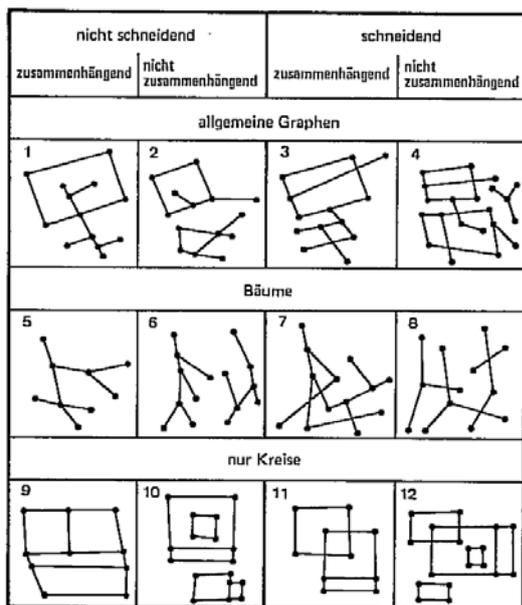
Figur 4-9 Zyklen erlaubt



Figur 4-10 nur Zyklen

4.1.3 Die 12 möglichen geometrischen Grundstrukturen

Die drei Merkmale Schneiden, Zusammenhängen, Zyklen mit je zwei (bzw. drei) Ausprägungen lassen 12 verschiedene Kombinationen zu. Diese sind in Figur 4-11 dargestellt. Wesentlich sind die topologischen Beziehungen und nicht die spezielle Lage der Knoten oder gar die Form der verbindenden Kanten.



Figur 4-11 Die 12 geometrischen Grundstrukturen

4.1.4 Interpretation

Nicht alle 12 geometrischen Grundstrukturen lassen sich gleich gut interpretieren. Einige Feststellungen:

a) Interpretation als Flächen

Nur geometrische Grundstrukturen, bei denen alle Kanten in Zyklen eingebunden sind (9 und 10, allenfalls 11 und 12 in Figur 4-11) lassen sich zwanglos als Flächenmuster interpretieren.

b) Überflüssige Einschränkungen

Die geometrischen Grundstrukturen 3 und 4, aber auch 9 und 10 in Figur 4-11 werden gleich interpretiert, z.B. Verkehrsnetz, Leitungsnetz o. ä. bzw. als Parzellen, Zonenplan, o.ä. Man kann daraus schliessen, dass das Merkmal zusammenhängend oder nicht-zusammenhängend nicht erforderlich ist, sondern dass Parzellen, Zonenplan und ähnliches durch die Eigenschaften «alle Kanten in Zyklen eingebunden» und «Kanten schneiden sich

nicht» schon genügend beschrieben sind.

4.1.5 Semantik von geometrischen Grundstrukturen

Die bei der Interpretation gemachten Bemerkungen zeigen, dass die geometrischen Grundstrukturen, bzw. die sie bestimmenden topologischen Eigenschaften Anteil an der Semantik geometrischer Figuren haben. Offensichtliches Beispiel sind planare Graphen¹, bei denen alle Kanten in Zyklen liegen und bei denen die minimalen Zyklen in natürlicher Weise als Flächen interpretiert werden. Diese beiden Eigenschaften sind offenbar Voraussetzung für die Interpretation als Fläche. Die sehr interessanten Fragen über die semantischen Zusammenhänge geometrischer Begriffe können aber nicht weiter verfolgt werden.

Im folgenden werden die geometrischen Grundstrukturen, die als Flächen interpretiert werden können (9, 10, 11 und 12 in Figur 4-11) von den übrigen, als netzartig bezeichneten geometrischen Grundstrukturen, unterschieden.

4.1.6 Operationen

Geometrische Grundstrukturen, die als Flächen interpretiert werden können, unterscheiden sich auch in den an ihnen zugelassenen Operationen von den netzartigen geometrischen Grundstrukturen.

Netzartige geometrische Grundstrukturen können gebildet und verändert werden, indem einer bestehenden geometrischen Grundstruktur (wozu auch die leere geometrische Grundstruktur gehört) eine Kante *zugefügt* oder *weggenommen* wird und daraus wieder eine gleiche geometrische Grundstruktur entsteht (vgl. 4.4.3).

Dies gilt nicht für die als Flächen interpretierten geometrischen Grundstrukturen: durch Zufügen einer einzigen Kante zur leeren geometrischen Grundstruktur entsteht keine konsistente, als Fläche interpretierbare Figur. Die einzigen konsistenzhaltenden Operationen sind *Teilen* und *Vereinigen* von Flächen (vgl. 4.2.3).

¹ Planare Graphen sind Graphen, bei denen sich die Kanten nicht schneiden.

4.1.7 Weiteres Vorgehen

Nach diesen Ansätzen zu einer systematischen Behandlung muss zu einer exemplarischen Behandlung der praktisch bedeutsamen Fälle übergegangen werden.

Im weiteren werden hier zwei geometrische Grundstrukturen, die sicher für ein Landinformationssystem von besonderer Bedeutung sind, herausgegriffen und weiter behandelt:

Wir nennen die Struktur 10 in Figur 4-11 *Partition*, sie kann beispielsweise zur Beschreibung von Parzellen, aber auch für die Einteilung einer Gemeinde in verschiedene Bauzonen usw. herangezogen werden. Bei der Partition wird dabei noch ein Spezialfall, die Hierarchie von Partitionen, besonders untersucht.

Die Strukturen 1 bis 8 in Figur 4-11 nennen wir *Netze*, sie treten beispielsweise als Strassennetze, Linien des öffentlichen Verkehrs oder als Leitungsnetze von Gas, Wasser usw. in einem Landinformationssystem auf.

Diese beiden Typen scheinen für eine exemplarische Untersuchung ausreichend, indem eine Flächen- und eine Linienstruktur untersucht werden, die sich auch in der Art der zulässigen Operationen stark unterscheiden. Es kann erwartet werden, dass damit die wesentlichen Fragestellungen bei der Behandlung von geometrischen Grundstrukturen aufgedeckt werden können.

Die folgende Behandlung der geometrischen Grundstrukturen soll zeigen, dass eine Untersuchung der in einem Landinformationssystem auftretenden geometrischen Sachverhalte, losgelöst von bestimmten Bedeutungen, möglich und sinnvoll ist. Dabei wird sich ergeben, dass geometrische Konsistenzbedingungen *das* wesentliche Kriterium zur gegenseitigen Abgrenzung geometrischer Strukturen sind und auch für die Interpretierbarkeit eine entscheidende Rolle spielen.

Schliesslich muss die folgende Behandlung auch zeigen, wie die im zweiten Teil bei den geometrischen Primitiven eingeführten Konsistenzbedingungen (vgl. 3.5) die Behandlung der geometrischen Grundstrukturen erleichtern und damit gerechtfertigt sind.

Kapitel 4.2

Partition

4.2.1 Begriff

4.2.2 Konsistenzbedingungen für Partitionen

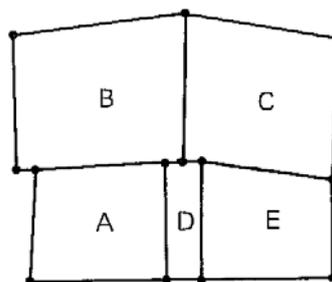
4.2.3 Operationen

Eine ohne Rest in Teilflächen aufgeteilte Fläche nennen wir eine Partition. Als wichtiges Beispiel einer Partition sei die Einteilung einer Gemeinde in Parzellen angeführt.

4.2.1 Begriff

Unter einer Partition verstehen wir die Einteilung einer Gesamtfläche in Teilflächen, so dass

- keine zwei Teilflächen sich überdecken,
- die Teilflächen zusammen genau die Gesamtfläche ergeben.¹



Figur 4-12 Eine Partition mit Teilflächen A bis E

Für Partitionen lassen sich sehr viele Beispiele angeben:

- Einteilung einer Gemeinde in Parzellen,
- Einteilung eines Güterzusammenlegungsperimeters in Bonitierungsflächen,
- Aufteilung einer Parzelle in die Nutzungsflächen der Arealstatistik,
- Einteilung einer Gemeinde in Grundbuchpläne,
- Einteilung der Schweiz in Kantone,
- Einteilung eines Kantons in Gemeinden.

In einigen Ausnahmefällen entsprechen vorliegende Einteilungen nicht genau Partitionen:

- Einteilung einer Gemeinde in Parzellen: nach den Bestimmungen des ZGB kann sich eine Parzelle über mehrere Gemeinden erstrecken.

¹ Die Partition bildet Äquivalenzklassen, indem die Einteilung in Teilflächen für alle Punkte P, Q eine Äquivalenzrelation «P liegt in der gleichen Teilfläche wie Q», definiert. Einteilungen in Äquivalenzklassen, die häufig vorkommen, scheinen bestimmte semantische Eigenschaften aufzuweisen.

- Einteilung der Schweiz in Gemeinden:

es gibt Gebiete, die zu mehreren Gemeinden gehören (Tessin, Wallis).

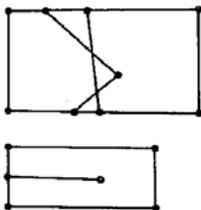
Hier empfiehlt es sich, den Sachverhalt nach der allgemeinen Regel zu behandeln und die seltenen Ausnahmen auf einer höheren Ebene zu lösen, also z. B. die Gebiete, die unter der Hoheit mehrerer Gemeinden stehen, als eigene Gemeinden zu behandeln oder Parzellen, die in mehreren Gemeinden liegen, de lege ferenda, zu verbieten.

4.12 Konsistenzbedingungen für Partitionen

Graphen, die Partitionen bilden, müssen folgende Bedingungen erfüllen:

- die Kanten schneiden sich nicht P1
- alle Kanten sind Teile von Zyklen P2

Gegen-Beispiele



Figur 4-13 Keine zulässigen Partitionen

Beim Betrieb einer Datenbank ist es oft notwendig, die Konsistenz für den ganzen Datenbestand oder für grössere Teile desselben zu überprüfen.

Dazu ist aber die vorstehende Formulierung der Konsistenzbedingungen nicht günstig, weil die Prüfung, dass jede Kante in einem Zyklus enthalten ist, aufwendig ist (z. B. [Perl 81]).

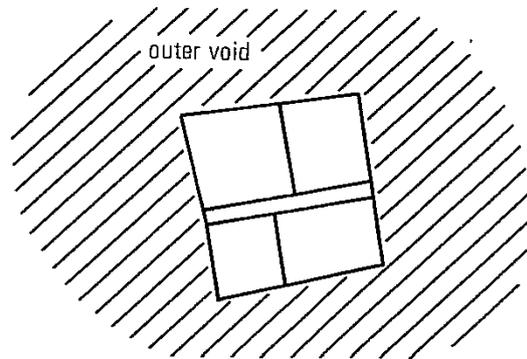
Folgende Überlegung führt zu einer einfachen anwendbaren Regel:

Für den Benutzer steht bei einer Partition nicht so sehr das Netz der Grenzlinien im Vordergrund, sondern es interessieren vor allem die durch das Netz abgegrenzten *Teilflächen*.

Wir können deshalb die Konsistenzbedingungen P2 auch formulieren:

Jede Kante grenzt zwei verschiedene Teilflächen gegeneinander ab. P2¹

Das erfordert, dass am Rand die äussere, umgebende Fläche als Teilfläche mitgezählt wird (englisch meist als «outervoid» bezeichnet).



Figur4-14 Partition mit umgebender Fläche

Die Operationen an Partitionen sind, ausser dem trivialen Erzeugen einer leeren Partition, vom Benutzer aus gesehen, Operationen an den Teilflächen der Partition.

4.2.3 Operationen

Für Partitionen sind nur zwei verändernde Operationen sinnvoll:

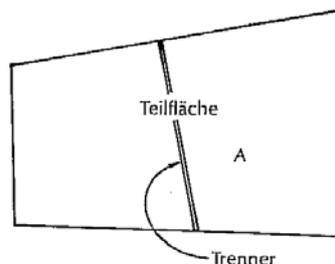
- Vereinigen* zweier Teilflächen zu einer Teilfläche.
- Teilen* einer Teilfläche in zwei Teilflächen.

Voraussetzung für das Vereinigen zweier Teilflächen ist, dass sie in mindestens einer Kante aneinanderstossen. Dann bleiben die Konsistenzbedingungen erfüllt, wenn die gemeinsame Grenze entfernt wird.

Die Voraussetzungen für die Teilung einer Teilfläche in zwei Teile sind etwas komplizierter:

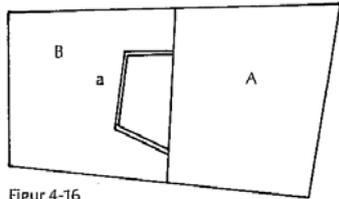
Eine Teilfläche kann durch einen zusammenhängenden, unverzweigten, sich nicht schneidenden Graphen geteilt werden,

- wenn dieser Trenner die Grenze der Teilfläche nicht schneidet,
- wenn Anfangs- und Endpunkt dieses Trenners je auf der Grenze der Teilfläche liegen.



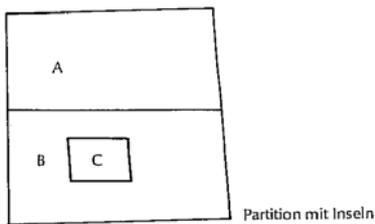
Figur4-15 Teilfläche mit Trenner

Schliesslich muss, um die Semantik des Teilens einer Teilfläche zu erfüllen, auch verlangt werden, dass der Trenner innerhalb der Teilfläche liegt. Betrachtet man in Figur 4-16 nur den erzeugten Graphen, ist auch im Fall «Teilung von A durch a» das Ergebnis eine Partition; aber das entspricht nicht der Semantik der Operation «Teilen der Fläche A».



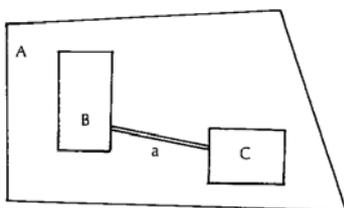
Figur 4-16

Schwieriger sind die Voraussetzungen zu prüfen, wenn der Graph nicht zusammenhängend ist, was z. B. bei der Einteilung in Parzellen vorkommt (Figur 4-17).



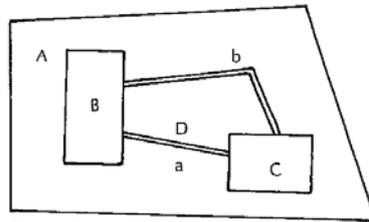
Figur 4-17

Die Teilfläche, die vollständig von einer andern Teilfläche umgeben ist, nennen wir Insel.



Figur 4-18

Das Teilen von A mit a in der Figur 4-18 ist beispielsweise nicht zulässig, sondern es ist zumindest ein zweiter Trenner b erforderlich (Figur 4-19). Auch für diese Fälle lassen sich Algorithmen für die Operationen angeben, die die Konsistenz erhalten.



Figur 4-19

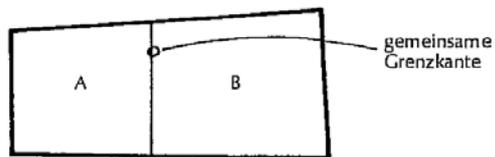
Ein einfacher Algorithmus für Teilen und Vereinigen ergibt sich mit folgender Strategie:

Zuerst bilden wir die Menge aller Kanten, die die neuen Parzellen begrenzen sollen. Dann bilden wir daraus die Parzellen. Im Detail ergibt sich:

(1) *Bilden der Menge der neuen Grenzen:*

Beim Vereinigen zweier Parzellen:

Menge der Grenzkanten der bisherigen Parzellen ohne die gemeinsamen Grenzkanten (Figur 4-20)



Figur 4-20

Beim Teilen einer Parzelle:

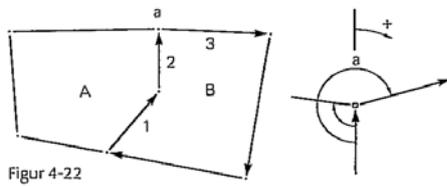
Menge der Grenzkanten der zu teilenden Parzelle und die neue Grenze (diese doppelt) (Figur 4-21)



Figur 4-21

(2) *Bilden der neuen Parzelle*

Beim Vereinigen zweier Parzellen können wir mit einer beliebigen Kante starten; beim Teilen einer Parzelle muss die erste Kante zum Trenner gehören. Von dieser ausgehend suchen wir in einer Richtung jeweils die Anschlusskante. Existieren mehrere, so wählen wir jeweils diejenige, die den grössten (gerichteten) Winkel zur vorausgehenden bildet.



Damit fahren wir fort, bis wir wieder beim Ausgangspunkt anlangen. Dann haben wir die Fläche im Uhrzeigersinn umfahren. (Hätten wir den kleinsten Winkel gewählt, so wären wir im Gegenuhrzeigersinn um die Fläche herumgefahren.)

Beim Teilen einer Parzelle müssen wir mit der gleichen Kante nochmals, diesmal in anderer Richtung, starten. Damit erhalten wir die zweite neue Fläche. Wichtig ist, dass wir mit einer Kante starten, von der wir wissen, dass sie beide neuen Parzellen begrenzt.

Sind damit alle Kanten verteilt, so sind wir am Ende. Sind hingegen noch unverteilte Kanten vorhanden, so müssen diese Inseln bilden.

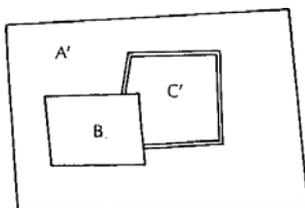
(3) Behandeln von Inseln

Wir wiederholen folgende Aktionen, bis wir alle Kanten verteilt haben:

Wir starten mit einer beliebigen, noch nicht verteilten Kante und umfahren nach der obigen Regel eine Fläche. Dies ist eine Insel, die wir in die neue Parzelle einfügen (wobei wir beim Teilen einer Parzelle zuerst entscheiden müssen, innerhalb welcher neuen Parzelle diese zu liegen kommt).

Ein Sonderfall kann sich ergeben, wenn wir von einer Insel ausgehend teilen:

Es ergibt sich für Fläche A zuerst die innere Grenzlinie (Grenze A'-C'); die äussere Grenze finden wir erst mit dem oben für Inseln beschriebenen Verfahren. Durch die Berechnung des Flächeninhaltes können wir diesen Fall erkennen und richtig behandeln.



Figur 4-23 Teilen von A in A' und C'

Kapitel 4.3

Hierarchie von Partitionen

4.3.1 Begriff

4.3.2 Konsistenzbedingungen für Hierarchien von Partitionen

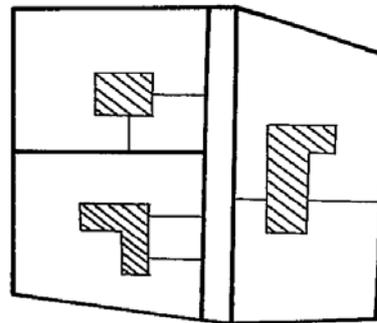
4.3.3 Operationen

4.3.4 Konsistenzprüfung

In einigen wichtigen Fällen erfolgt die Einteilung in Teilflächen so, dass jeweils Teilflächen einer Bedeutungsart gerade eine Partition von Teilflächen einer andern Art bilden. Diese hierarchische Beziehung kann sich mehrfach wiederholen, am deutlichsten wohl in der Reihe Schweiz — Kanton — Gemeinde — Parzelle — Nutzungsfläche.

4.3.1 Begriff

Teilen zwei verschiedene Partitionen die Gesamtfläche so, dass immer eine oder mehrere Teilflächen der einen eine Teilfläche der andern bilden, so sprechen wir von einer Hierarchie von Partitionen.



Figur 4-24 Parzellen und Nutzungsflächen

Bereits erwähnt wurde die Reihe Schweiz — Kanton — Gemeinde — Parzelle — Nutzungsfläche, bei der je die Teilflächen der tieferen Stufe eine Partition einer Teilfläche der höheren Stufe bilden.

Gleich wird eine Gemeinde auch im Zonenplan in Nutzungszonen eingeteilt oder im Falle der Güterzusammenlegung werden die Gewanne aufgeteilt in

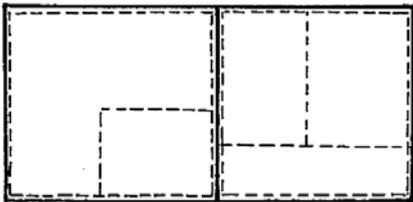
- alte Parzellen
- Bonitierungsflächen,
- neue Parzellen.

4.3.2 Konsistenzbedingungen für Hierarchien von Partitionen

Graphen, die Hierarchien von Partitionen bilden, erfüllen folgende Bedingungen:

- die Kanten einer Partition schneiden sich nicht (siehe 4.2.2) P1
- die Kanten aller Partitionen schneiden sich nicht H1
- alle Kanten einer Partition sind Teile von Zyklen (siehe 4.2.2) P2
- die minimalen Zyklen der einen (tieferen) Partition werden durch die Kanten der höheren Partition nicht in kleinere Zyklen unterteilt H2
oder

die Grenzen der höheren Partition sind immer auch Grenzen der tieferen H2'



Figur 4-25 Zwei Parzellen mit Nutzungsflächen

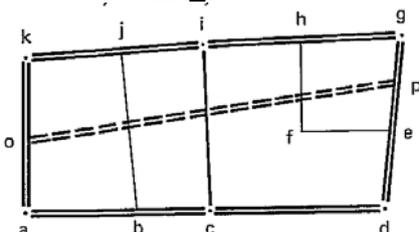
4.3.3 Operationen

Für die einzelnen Partitionen können die in 4.2.3 erwähnten Operationen «Teilen» und «Vereinigen» angewandt werden.

Bei diesen Operationen muss aber die Konsistenz mit der tieferen Partition erhalten bleiben (H1, H2). Beim Teilen sind somit auch die betroffenen Teilflächen zu teilen, bzw. beim Vereinigen allenfalls aneinanderstossende Teilflächen mit gleicher Bedeutung zu vereinigen.

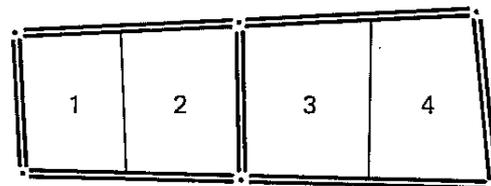
Besteht die Hierarchie von Partitionen aus mehreren Stufen, so pflanzen sich diese Folgen der Konsistenzbedingungen nach unten fort.

Die Teilung der obersten Partition (a-c-d-g-i-k) durch o-p bewirkt Teilen der beiden unteren Partitionen (a-c-i-k, c-d-g-i) und (a-b-j-k, b-c-i-j, i-c-d-e-f-h-i, e-f-h-g).



Figur 4-26

Eine Operation auf einer unteren Stufe einer Hierarchie von Partitionen kann die oberen Stufen nicht beeinflussen, hingegen verbietet die Partition einer oberen Stufe das Vereinigen zweier Teilflächen unterer Stufe, die nicht zur gleichen Teilfläche der oberen Stufe gehören. Die Teilflächen 2 und 3 in Figur 4-27 können nicht vereinigt werden, weil sie nicht zur gleichen Teilfläche der oberen Stufe gehören.



Figur 4-27

4.3.4 Konsistenzprüfung

Um die Konsistenz einer Hierarchie von Partitionen zu prüfen, genügt es

- dass sich keine Kanten schneiden (P1 und H1),
- dass jede Kante der oberen Partition auch Kante aller unteren Partitionen ist (H2')
und
- dass jede Kante für jede Stufe, an der sie teilnimmt, genau zwei verschiedene Teilflächen begrenzt (P2').

Kapitel 4.4

Netz

4.4.1 Begriff

4.4.2 Konsistenzprüfung

4.4.3 Operationen

Im Gegensatz zur Partition, die als klar eingeschränkte geometrische Grundstruktur hervorsticht, sind Netze weniger einheitlich. Gemeinsam ist allen Netzen (das grenzt sie gegen flächenhafte geometrische Grundstrukturen ab), dass sie Kanten enthalten können, die nicht in Zyklen eingebunden sind. Je nach Bedeutung des Netzes werden zusätzliche Bedingungen auftreten, z. B.

- Kanten dürfen sich nicht schneiden,
- keine Zyklen,
- keine Verzweigung, d. h. in keinem Knoten stossen mehr als zwei Kanten zusammen,
- zusammenhängend.

Als Beispiele können Strassennetze, Kanalisationsnetze usw. angeführt werden.

4.4.1 Begriff

Unter Netz verstehen wir im folgenden alle geometrischen Grundstrukturen, die nicht voraussetzen, dass alle Kanten Teil eines Zyklus sind. Netze sind deshalb nicht flächenabgrenzend.¹

Einfache bekannte Beispiele von Objekten eines Landinformationssystems; die durch ein Netz beschrieben werden können, sind:

- Leitungsnetze aller Art, Gas, Wasser, Elektrizität, Abwasser usw.
- Netze von Verkehrsverbindungen (Strassen, Eisenbahn, öffentliche Verkehrsmittel)
- Geodätische Netze (Polygon, Triangulation). Beispielsweise sind Strassennetze im allgemeinen zusammenhängend, enthalten Verzweigungen und bilden Zyklen. Je nach betrachtetem Strassentyp ist auch das Schneiden von Kanten ohne expliziten Schnittpunkt zulässig (Überführungen).

Hingegen bilden die Abwasserleitungen in den meisten Fällen keine Zyklen und schneiden sich auch nicht.

4.4.2 Konsistenzprüfung

4.4.2.1 Nicht-Schneiden

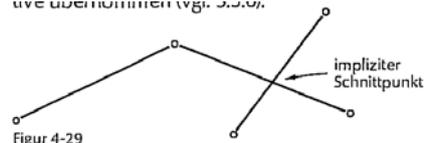
Für ein Netz kann verlangt werden, dass

- sich keine Kanten schneiden,
- sich keine Kante mit einer Kante eines andern Netzes gleicher Bedeutung schneidet,
- sich keine Kante mit einer Kante eines Netzes von bestimmter anderer Bedeutung schneidet

Die Prüfung dieser Bedingungen erfolgt in zwei Schritten:

Erstens wird für alle Kanten geprüft, ob sich nicht unzulässige, implizite Schnittpunkte mit andern Kanten ergeben; diese Prüfung wird von den Operationen für geometrische Primitive übernommen (vgl. 3.5.6).

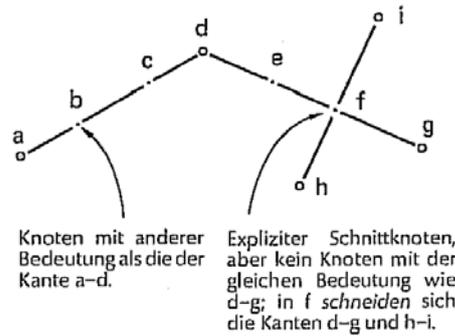
wie übernommen (vgl. 3.5.6).



Figur 4-29

¹ Dieser Begriff ist eingeschränkt gegenüber dem in der Graphentheorie verwendeten allgemeinen Begriff des Netzes, der dort Synonym des Begriffes «Graph» ist.

Zweitens wird für alle Knoten, die eine andere Bedeutung als die des Netzes tragen (vgl. 3.6.2 und Figur 4-30), geprüft, ob in ihnen ausser den zwei zum Netz gehörigen Kanten nicht Kanten mit nicht zulässigen anderen Bedeutungen enden.



Figur 4-30

4.4.2.2 Übrige Konsistenzbedingungen

Die Anzahl Flächen (minimale Zyklen), die Anzahl Komponenten (nicht zusammenhängende Teile) und die Anzahl Knoten und Kanten eines Graphen stehen in einem bestimmten Verhältnis zueinander, und zwar gilt in einer für uns besonders geeigneten Formulierung (nach [Perl 81]):

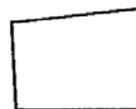
$$2r + k_1 = k_m + 2t \quad (N1)$$

wo

- r Anzahl Flächen,
- k_1 Anzahl Knoten mit Knotengrad 1 (d.h. Knoten, in denen nur eine Kante endet),
- k_m Anzahl Kanten, die in Knoten mit mehr als zwei Kanten enden, wobei die ersten zwei Kanten nicht mitgezählt werden,
- t Anzahl Komponenten des Graphen.

Einige Beispiele:

$r = 1$	$r = 1$
$t = 1$	$t = 1$
$k_1 = 0$	$k_1 = 1$
$k_m = 0$	$k_m = 1$
$2 \cdot 1 + 0 = 0 + 2 \cdot 1$	$2 \cdot 1 + 1 = 1 + 2 \cdot 1$



Figur 4-31



Figur 4-32

$$\begin{aligned}
r &= 1 \\
t &= 2 \\
k_1 &= 3 \\
k_m &= 1 \\
2 \cdot 1 + 3 &= 1 + 2 \cdot 2
\end{aligned}$$



Figur 4-33

Der Beweis ist durch vollständige Induktion zu führen. Es handelt sich hier um einen Ausdruck, der eng mit der Eulerschen Polyederformel verwandt ist, die bei Polyeder eine Beziehung zwischen der Zahl der Ecken, Kanten und Flächen herstellt

Mit dieser Regel sind nun die Bedingungen für die geometrische Konsistenz bei geometrischen Grundstrukturen einfach zu formulieren.

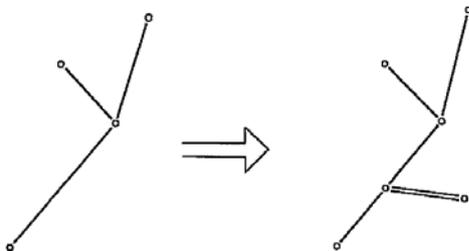
Alles Zyken	k_1 muss 0 sein (N2)
Keine Zyklen	r muss 0 sein (N3)
Keine Verzweigungen	k_m muss 0 sein (N4)
Zusammenhängend	t muss 1 sein (N5)

Die Grössen k_1 , k_m und t lassen sich mit Algorithmen, deren Aufwand ungefähr proportional zur Grösse des Graphen ansteigt, bestimmen. Daraus lässt sich nach (N1) r berechnen. Dies ist sehr vorteilhaft, da sich diese Grösse nicht leicht direkt bestimmen liesse.

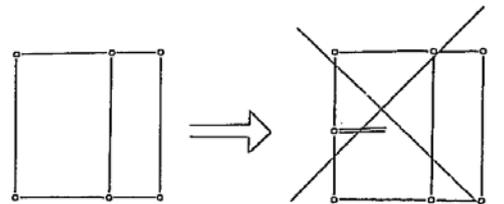
4.4.3 Operationen

Für Netze sind die grundlegenden Operationen das *Anfügen einer Kante* und das *Entfernen einer Kante*.

Damit dieses Repertoire ausreicht, muss auch ein leeres Netz, d. h. ein Netz, das keine Kanten enthält, zulässig sein. Ein beliebiges Netz entsteht dann durch fortgesetztes Anfügen von Kanten an ein leeres Netz. Ein beliebiges Netz wird gelöscht, indem alle Kanten daraus entfernt werden. Entscheidend für diese Art des Vorgehens ist, dass nach jeder einzelnen der



Figur 4-34 Anfügen einer Kante an ein Netz ergibt wieder Netz



Figur 4-35 Anfügen einer Kante an eine Partition ergibt nicht immer eine konsistente Partition

erwähnten Operationen die Konsistenzbedingungen überprüft und erfüllt werden. Bei der Partition war dies nicht möglich, indem dort im allgemeinen Fall nur nach dem Einfügen oder Entfernen mehrerer Kanten wieder ein konsistenter Zustand erreicht wird.

Für Operationen an Netzen gibt es zwei Strategien, um die Konsistenzbedingungen zu überprüfen

- entweder wird am Schluss der Operation geprüft, ob das Ergebnis die Konsistenzbedingungen erfüllt
- oder
- die Eingangsdaten werden so überprüft, dass gewährleistet ist, dass das Ergebnis den Konsistenzbedingungen entspricht.

Besonders bei sehr grossen Netzen, denen eine Kante angegeben wird, ist es unnötiger Aufwand, die Konsistenz des Ergebnisses als Ganzes neu zu prüfen. Viel einfacher lassen sich wenige Bedingungen für die zugefügte Kante angeben, die Gewähr bieten, dass das vorher konsistente Netz auch mit der neuen Kante konsistent ist.

Generell ist es mit richtig gewählten Operationen möglich, Konsistenz der verwalteten Daten zu garantieren. Für alle Operationen muss gelten, dass sie einen konsistenten Ausgangszustand in ein verändertes, aber immer noch konsistentes Ergebnis umwandeln (oder aber keine Veränderung vornehmen).

Wenn dazu noch eine erzeugende Operation für einen konsistenten Start-Zustand gegeben ist, so kann mit diesen Operationen zwar jedes gewünschte konsistente Ergebnis erzielt, aber kein inkonsistenter Zustand erzeugt werden (vgl. 5.8.1).

Die nächsten Paragraphen gehen von diesen Überlegungen aus. Sie setzen eine konsistente Ausgangslage voraus und geben Bedingungen für die Lage einer einzufügenden Kante an, die garantieren, dass auch das Ergebnis wieder konsistent ist.

4.4.3.1 Nicht-Schneiden

Diese Bedingungen lassen sich einfach einhalten: Für die anzufügende Kante ist zu prüfen, ob sie keine andere Kante mit einer Bedeutung schneidet, für die das Schneiden verboten ist. Das kann sehr einfach erfolgen, indem alle Kanten, die die neue Kante schneiden, überprüft werden.

Wird diese neue Kante am vorher konsistenten Netz angehängt, so erfüllt die neue Figur die Schnittbedingungen auch wieder.

4.4.3.2 Bedingungen für Zyklen und Zusammenhängen

Beim Einfügen oder Wegnehmen einer Kante aus einem Netz müssen, je nach den Bedingungen für dieses Netz, N2 bis N5 einzeln oder gesamthaft erfüllt bleiben.

Wir müssen somit den Einfluss der einzufügenden oder wegzunehmenden Kante auf die Gleichung N1 untersuchen. Hier wird nur das Einfügen diskutiert, das Entfernen erfolgt analog.

Aus

$$2r + k_1 = k_n + 2t \quad (N6)$$

als der am Anfang erfüllten Bedingung, und

$$2r' + k_1 = k_m + 2t' \quad (N7)$$

als der nach dem Einfügen zu erfüllenden Bedingung folgt, dass auch

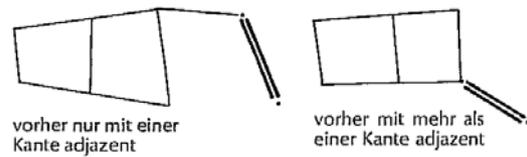
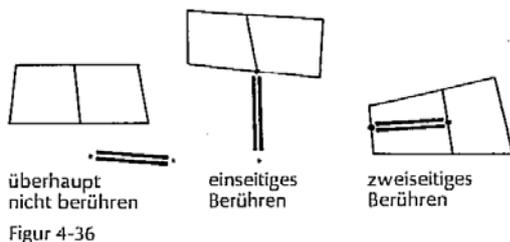
$$2\Delta r + \Delta k_1 = \Delta k_m + 2\Delta t \quad (N8)$$

gelten muss, wobei

$$\Delta r = r - r', \Delta k_1 = k_1 - k_1' \text{ usw.}$$

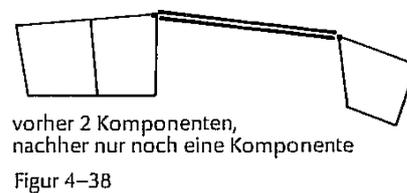
bedeute.

Dazu müssen wir überprüfen, welche Beziehung zwischen der einzufügenden neuen Kante und dem bestehenden Netz besteht. Dabei ist wesentlich, ob die neue Kante das bestehende Netz einseitig, beidseitig oder



überhaupt nicht berührt und ob die allfällige Berührung in einem Knoten erfolgt, der bisher nur mit einer oder mehreren Kanten adjazent war.

Schliesslich muss bei Netzen, die nicht zusammenhängend sind, eventuell auch noch untersucht werden, ob die neue Kante zwei bisherige Komponenten verbindet und damit die Zahl der Komponenten vermindert



Diese letzte Prüfung erfordert sehr arbeitsaufwendige Algorithmen.

Sind diese Beziehungen abgeklärt, lassen sich die Δ leicht bestimmen und (N^1) überprüfen.

Je nach den für ein Netz gültigen Konsistenzbedingungen können Vereinfachungen ausgenützt werden, so dass nicht alle Beziehungen immer überprüft werden müssen.

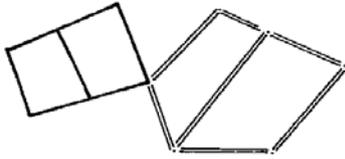
4.4.3.3 Vereinigung zweier Netze

Diese Operation liesse sich prinzipiell auf die eben beschriebene zurückführen, indem vom kleineren Netz Kante um Kante an das grössere Netz angefügt wird.

Dies ist aufwendig, weil dabei die für das zweite Netz vielleicht schon bekannten Konsistenzbedingungen nicht berücksichtigt werden. Wesentlich einfacher lässt sich diese Überprüfung durchführen, wenn die bereits erfüllten Konsistenzbedingungen der gegebenen Netze verwendet werden. Dabei ergeben sich aber verschiedene Kombinationsmöglichkeiten, die hier nicht erschöpfend behandelt werden können. Wir beschränken uns darauf, an den einfachsten Fällen das Prinzip zu zeigen.

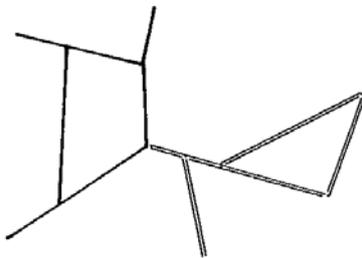
Erfüllen beide Netze die Bedingung «Alles Zyklen», so erfüllt die Vereinigung diese Bedingung auch (k_1 ist in beiden Netzen Null, neue

Knoten mit Knotengrad 1 können nicht entstehen.
Die Summe bleibt Null).



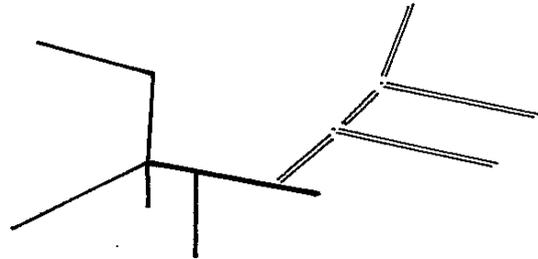
Figur 4-39 Vereinigen zweier Netze mit «Alles Zyklen»

Sind beide Netze zusammenhängend und haben sie mindestens einen Knoten gemeinsam, so ist auch das Ergebnis zusammenhängend.



Figur 4-40 Vereinigen zweier Netze, die zusammenhängen

Haben beide Netze keine Zyklen, so hat auch das Ergebnis keine Zyklen, sofern die beiden Netze nur einen Punkt gemeinsam haben.



Figur 4-41 Vereinigen zweier Netze ohne Zyklen

Fünfter Teil

Konzeptionelles Schema

- Kapitel 5.1 Datenbank
- Kapitel 5.2 Datenstrukturen - Datenmodell
- Kapitel 5.3 Datenbank-Entwurf
- Kapitel 5.4 Die Datenstruktur eines Landinformationssystems im erweiterten Entitäten-Block-Diagramm
- Kapitel 5.5 Einfache Konsistenzbedingungen
- Kapitel 5.6 Komplexe Konsistenzbedingungen
- Kapitel 5.7 Zugriffspfade
- Kapitel 5.8 Transaktionen und Konsistenz

Mit der Analyse der geometrischen Aspekte eines Landinformationssystems sind die Beziehungen zwischen den verschiedenen Daten meistens genügend genau bekannt. Die logischen Beziehungen zwischen den Daten müssen nun nach den in der Datenbanktheorie entwickelten Regeln formal beschrieben werden. Diese Darstellung der Datenstrukturen wird üblicherweise konzeptionelles Schema (conceptual schema) genannt

In diesem fünften Teil werden zuerst die grundlegenden Begriffe und die Idee des Datenbankkonzeptes eingeführt, bevor die Methoden der Erstellung eines konzeptionellen Schemas, wie sie [Thurnherr 80] und [Zehnder 81] beschreiben, auf die Daten eines Landinformationssystems angewendet werden.

Für die Darstellung des konzeptionellen Schemas wird in dieser Arbeit eine benützernahe, graphische Methode verwendet, welche möglichst auf EDV-technische Details verzichtet

Kapitel 5.1

Datenbank

- 5.1.1 Datenbank-Konzept
- 5.1.2 Begriff der Datenbank
- 5.1.3 Datenintegrität
- 5.1.4 Datenbank-Verwaltungssysteme
- 5.1.5 Datenbank-Schema

Datenbanken sind ein Konzept der Informatik, um

Aufgaben, wie sie Landinformationssysteme stellen, zu lösen. Ziel ist, Daten nur einmal zu speichern und sie verschiedenen Programmen über eine einheitliche Schnittstelle zugänglich zu machen. In diesem Kapitel werden die wichtigsten Begriffe kurz eingeführt. Unsere Darstellung folgt der ausführlichen Behandlung in [Zehnder 81], auf die der interessierte Leser für weitere Angaben verwiesen sei.

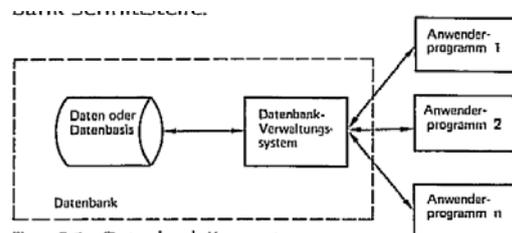
5.1.1 Datenbank-Konzept

Nicht nur für Landinformationssysteme, sondern auch für verschiedenste andere Anwendungen werden EDV-Systeme neben dem Zählen und Rechnen zunehmend auch zur längerfristigen Speicherung von Daten eingesetzt. In vielen Fällen müssen verschiedene Benutzer mit unterschiedlichen Programmen auf die gleichen Daten zugreifen können.

Beispiele:

- Kundenkartei
- Lagerkartei
- Einwohnerkontrolle einer Gemeinde

In solchen Fällen reicht eine Datenspeicherung, die durch die Anwenderprogramme direkt organisiert wird, nicht mehr aus; die Verwaltung der gespeicherten Daten muss für alle Anwenderprogramme gleichartig und somit separat erfolgen. Es liegt damit nahe, diese Aufgabe einem zwischen Anwenderprogrammen und Daten eingeschobenen speziellen Programm, dem Datenbank-Verwaltungssystem, zu übertragen. Die Anwenderprogramme benutzen dann für den Zugriff auf die Daten die einheitlichen Operationen, die dieses Datenbank-Verwaltungssystem anbietet. Diese einheitlichen Operationen bilden die sogenannte Datenbank-Schnittstelle.



Figur 5-1 Datenbank-Konzept

Diese Skizze zeigt, wenn man sie mit der Figur 1-2 vergleicht, die Übereinstimmung zwischen dem Landinformationssystem-Konzept und dem Datenbank-Konzept, das als generelle Antwort der Informatik an derartige Anforderungen betrachtet werden kann.

5.1.2 Begriff der Datenbank

Wenn ein *Datenverwaltungssystem* einen auf Dauer angelegten *Datenbestand* organisiert, schützt und verschiedenen Benützern zugänglich macht, bilden Datenverwaltung und Daten eine Datenbank (nach [Zehnder 81 S. 9]).

Ein Datenbestand allein sollte also nicht schon Datenbank genannt werden, sondern wir sprechen erst dann von einer Datenbank, wenn ein von den einzelnen Anwenderprogrammen getrenntes, zentrales Datenverwaltungssystem den Zugriff zu den Daten kontrolliert (vgl. 1.2.4). Mit dieser Trennung zwischen Datenverwaltung und Anwenderprogrammen erreicht man folgende Vorteile:

- Der Anwender muss die interne Organisation der Daten nicht kennen.
- Die Anwender können die Daten nicht unkontrolliert lesen oder ändern (vgl. 5.1.3).
- Die innere Organisation der Daten kann geändert werden, ohne dass die Anwenderprogramme angepasst werden
- Die für den Zugriff auf die Daten notwendigen Programme müssen nur einmal erstellt werden.

5.1.3 Datenintegrität

Sobald Datenbestände von mehreren Benützern und verschiedenen Programmen bearbeitet werden und die Daten über längere Frist brauchbar bleiben sollen, müssen Massnahmen getroffen werden, die verhindern, dass die Daten — absichtlich oder unabsichtlich — unbrauchbar gemacht werden können. (Eine Erfahrung, die sich auch im täglichen Leben z. B. bei Bibliotheken immer wieder bestätigt)

Ein zentrales Datenbank-Verwaltungssystem eignet sich dazu, bei jedem Zugriff auf die Daten die als notwendig erachteten Kontrollen vorzunehmen.

Diese Kontrollen dienen im allgemeinen drei verschiedenen Zwecken:

- Schutz der Daten gegen *missbräuchliche Verwendung*,
- Sicherung der Daten gegen Verlust und

Verfälschung durch *Verarbeitungsfehler*,

- Erhaltung der Widerspruchsfreiheit der Daten, indem verhindert wird, dass Daten gespeichert werden können, die zum bisherigen Datenbestand im Widerspruch stehen: *Datenkonsistenz*.¹

Da die ersten beiden Punkte, obgleich für ein Landinformationssystem sehr wichtig [Frank 81a], [Frank 81b], eher EDV-technische und rechtlich-politische Fragen betreffen, aber wenig mit dem Thema Datenstrukturen zu tun haben, werden sie hier nicht näher behandelt. Hingegen wird es im folgenden darum gehen, die im 3. und 4. Teil erarbeiteten Konsistenzregeln in einer für Datenbanksysteme verwendbaren Form zu beschreiben, damit sie nach der Programmierung durch das Datenbank-Verwaltungssystem gewährleistet werden können.

5.1.4 Datenbanksysteme

Weil in verschiedenen Anwendungen Datenverwaltungsaufgaben häufig in sehr ähnlicher Form auftreten, diese aber aufwendig zu programmieren sind, hat man sich schon früh überlegt, ob nicht ein standardisiertes Programm, das von jedem Anwender seiner Aufgabe anzupassen wäre, diese Aufgabe übernehmen könnte.

Inzwischen sind solche Programme, Datenbanksysteme genannt, auf dem Markt käuflich. Sie bieten unterschiedliche Leistungen an und wurden nach unterschiedlichen Konzepten entworfen.

Zur Zeit lassen sich drei Gruppen unterscheiden:

- Datenbanksysteme, die das Netzwerk-Datenmodell anwenden und im allgemeinen mehr oder weniger dem CODASYL-Standard folgen [CODASYL 71],
- sogenannte relationale Datenbanksysteme, welche als Datenmodell Tabellen verwenden,
- Datenspeicherungssysteme, die vor allem für den interaktiven Betrieb auf kleineren Computersystemen ausgelegt sind [Everest 81].

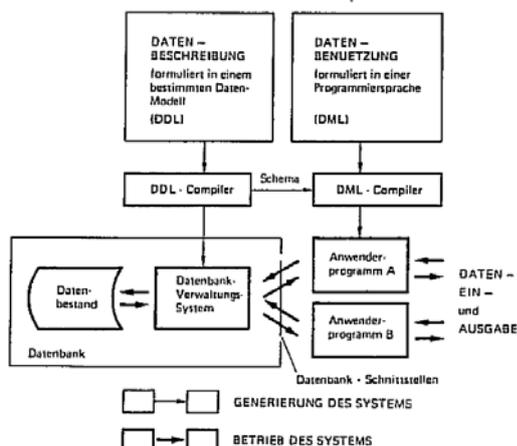
¹ Widerspruchsfreiheit ist eine schwächere Form der in 1.3.4 angestrebten «Richtigkeit» der Daten, wo die Übereinstimmung der Daten mit der Wirklichkeit gefordert wurde. «Richtigkeit» der Daten kann nicht vom Datenbankverwaltungssystem allein überprüft werden, sondern ist nur durch zusätzliche umfassende organisatorische Vorkehrungen zu erreichen.

Die hier entwickelten Überlegungen lassen sich sowohl für Datenbankverwaltungssysteme nach dem Netzwerk- als auch nach dem relationalen Datenmodell anwenden. Die kleineren und einfacheren Systeme der dritten Gruppe hingegen bieten nicht genügend Strukturierungsmöglichkeiten, als dass sie für Landinformationssysteme eingesetzt werden könnten. Ein Datenbanksystem muss dem Anwender zwei verschiedene Gruppen von Funktionen anbieten:

- Mittel zur Beschreibung der Datenstruktur (Data Description Language DDL),
- Mittel zur Beschreibung der Verarbeitung von Daten (Data Manipulation Language DML).

Mit Hilfe der Datenbeschreibungssprache (DDL) beschreibt der Anwender zuerst die Datenstruktur, d. h. die vom System zu verwaltenden Daten und die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen und Konsistenzbedingungen (Generieren der Datenbank). Ähnlich wie eine Programmiersprache zur Beschreibung von Prozessen dient, können mit einer Datenbeschreibungssprache die Daten in einer Datenbank organisiert werden. In [Zehnder 78] werden die Datenbeschreibungssprachen von Datenbanksystemen, in Analogie zu den «höheren Programmiersprachen», «höhere Datensprachen» genannt.

Später kann man aufgrund dieser Beschreibung der Datenstruktur mit Operationen (DML), die auf die deklarierte Struktur Bezug nehmen, in den Anwenderprogrammen Daten in die Datenbank einfügen, abfragen und verändern. Dabei werden die beschriebenen Konsistenzbedingungen automatisch überprüft



Figur 5-2 Aufbau einer Datenbank

In der ersten Phase unserer Untersuchung, in der die logischen Datenstrukturen im Vordergrund stehen, genügen die von den meisten Datenbanksystemen angebotenen Operationen, ohne dass die Unterschiede zwischen den verschiedenen Systemen grosse Bedeutung hätten. Verlangt man aber von einer Datenbank komplizierte oder umfangreiche Auswertungen innert einer kurzen Antwortzeit, so müssen Details der Implementierung beachtet werden; insbesondere spielt die physische Struktur der Speicherung eine wesentliche Rolle.

Deshalb werden wir in einer zweiten Phase untersuchen, wie für Landinformationssysteme typische Operationen rasch ausgeführt werden können (6. Teil).

5.1.5 Datenbank-Schema

Im Datenbank-Schema werden die von einem Datenbanksystem zu verarbeitenden Daten vollständig beschrieben.

Dem Vorschlag einer Studiengruppe des amerikanischen Standardisierungs-Institutes [ANSI/X3/SPARC] folgend, unterscheidet man heute generell drei verschiedene Datenbank-Schemata, die je einen bestimmten Aspekt der Datenbank beschreiben:

Das konzeptionelle Schema gibt eine vollständige *logische* (semantische) Beschreibung der Datenstruktur; insbesondere werden die Daten, ihre Beziehungen und die einzuhaltenden Konsistenzbedingungen genau angegeben [Fagin 81].

Das *interne* Schema beschreibt, wie diese Daten in der Datenverarbeitungsanlage darzustellen sind, wie sie gruppiert und organisiert werden sollen usw. Es werden dort generell Festlegungen über die physische Verwaltung der im konzeptionellen Schema beschriebenen Daten getroffen.

Das externe Schema beschreibt, wie die Daten und ihre Beziehungen den Ansprüchen eines Benützers entsprechend zu gruppieren sind. Indem dem Benützer nur der ihn interessierende Aspekt präsentiert wird, vermeidet man, dass er mit der ganzen Komplexität der gesamten Datenbank konfrontiert wird.

Mit diesem 3-Schema-Modell wird angestrebt, die Aspekte des logischen Entwurfes, der physischen Speicherung und der Datenverwendung möglichst weitgehend zu trennen; so können etwa Speicherungsverfahren geändert wer-

den, ohne dass die logische Beschreibung der Daten geändert werden muss.

Beispiel:

Im *konzeptionellen Schema* wird festgehalten, dass für ein Haus jeweils Anzahl Stockwerke, Anzahl Wohnungen, Baujahr und Eigentümer angegeben werden sollen.

Im *internen Schema* wird die interne Speicherung beschrieben, also z. B. dass für jedes Haus 13 Computerwörter Speicherplatz benötigt werden, wobei die ersten drei, als Binärzahlen interpretiert, Anzahl Stockwerke, Anzahl Wohnungen und Baujahr angeben, die letzten 10 je 4 Buchstaben enthalten, die den Namen des Eigentümers ergeben.

Soll z.B. für einen bestimmten Benutzer der Name des Eigentümers nicht zugänglich sein, so werden in seinem *externen Schema* für «Haus» nur die Attribute Anzahl Stockwerke, Anzahl Wohnungen und Baujahr aufgeführt.

Figur 5-3 Das 3-Schema-Modell (aus [Zehnder 81])

Die Beziehungen zwischen den Daten müssen für den Aufbau eines entsprechenden Datenbanksystems analysiert und formal beschrieben werden. Dazu dienen die Hilfsmittel, die von den in diesem Kapitel eingeführten Datenmodellen zur Verfügung gestellt werden. Damit der Benutzer die Festlegungen im Schema

möglichst leicht begreift, sollen darin nur die ihn betreffenden Aussagen enthalten sein. Das für diese Arbeit gewählte Datenmodell und die zugehörige Darstellungsmethode weichen deshalb leicht von dem in der Informatik üblichen ab und sind stärker graphisch orientiert. Dieses benutzerorientierte Schema muss anschliessend vom Datenbankverwalter in die Datenbeschreibungssprache des gewählten Datenbankverwaltungssystems umgesetzt und durch EDV-technische Angaben ergänzt werden.

5.2.1 Beschreibung der Datenstruktur im konzeptionellen Schema

FOE: die Beschreibung der Datenstruktur und der Konsistenzbedingungen muss eine formale, eindeutig interpretierbare Darstellung verwendet

werden. Sie erfolgt in einer Datenbeschreibungssprache, die sich auf ein bestimmtes Datenmodell bezieht.

Die heute bekannten formalen Datenbeschreibungssprachen setzen voraus, dass Strukturen und Konsistenzbedingungen einfach sind. Diese Beschränkung ergibt sich daraus, dass die zur Beschreibung verwendeten formalen Sprachen sonst zu umfangreich würden, und dass diese Strukturen effizient zu implementieren und die Konsistenzbedingungen während der Benützung der Datenbank einfach zu überprüfen sein müssen.

Kapitel 5.2

Datenstrukturen — Datenmodell

5.2.1 Beschreibung der Datenstruktur im konzeptionellen Schema

5.2.2 Datenmodell

5.2.3 Entität, Entitätsmenge

5.2.4 Beziehungen

5.2.5 Attribute

5.2.6 Methoden des Abstrahierens

5.2.7 Benützernahes Datenmodell

5.2.2 Datenmodell

«Ein Datenmodell stellt die Mittel bereit, die zur formalen Beschreibung eines Teils der realen Welt erforderlich sind» [Thurnherr 80].

Bis heute sind verschiedene Datenmodelle vorgeschlagen worden, die unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen.

Besonders wichtig sind:

Das Netzwerkmodell: Eine Gruppe des CODASYL-Standardisierungskomitees, das auch die weitverbreitete Programmiersprache COBOL geschaffen hat, veröffentlichte bereits 1971 einen Vorschlag [CODASYL 71], der später mehrfach verbessert wurde [CODASYL 73], [CODASYL [CODASYL 78b]. Dieser Vorschlag baut auf COBOL auf, nimmt Rücksicht auf die Möglichkeiten der Computer-Hardware und ist denn auch für die meisten Grosscomputer ([DEC 77a], [DEC 776], [Siemens 77] usw.) weitgehend implementiert worden.

Das Relationenmodell: E. F. Codd hat ein anderes, ausserordentlich einfaches Datenmodell vorgeschlagen [Codd 70], das auf Tabellen (dort Relationen genannt) mit gleichartigen Datensätzen aufbaut.

Dieses Modell ist einer strengen, mathematischen Analyse leicht zugänglich und hat damit die theoretische Erforschung der Datenbankprobleme gefördert [Codd 82]. In letzter Zeit sind Datenbanken implementiert worden, denen dieses Modell zugrundeliegt [Astrahan 76], [Stonebraker 76], [Oracle 79], [Rebsamen 82].

Aus neuerer Sicht scheinen die Unterschiede zwischen diesen beiden Datenmodellen nicht mehr so bedeutend. Werden Datenbank-Schemata nach den Konstruktionsregeln des erweiterten relationalen Datenmodelles [Thurnherr 80], [Zehnder 81] entworfen, so lassen sie sich sowohl mit Datenbanksystemen, die das Netzwerkdatenmodell benützen, als auch mit solchen, denen das relationale Datenmodell zugrundeliegt, implementieren.

Diese Arbeit basiert im folgenden auf diesem zuletzt genannten erweiterten relationalen Datenmodell. Dessen Elemente sind Entitäten mit Attributen und Beziehungen, welche in den nächsten drei Abschnitten eingeführt werden.

5.2.3 Entität, Entitätsmenge

«Eine Entität ist ein individuelles Exemplar von Elementen der realen oder der Vorstellungswelt. Sofern eine Beziehung zwischen Entitäten eine Bedeutung in der realen Welt hat, kann auch ein individuelles Exemplar einer solchen Beziehung als Entität aufgefasst werden» [Zehnder 81, S. 30].

Bilden wir für einen abgegrenzten Teil der Welt ein gedankliches Modell, so ist die Entität der in der Datenbank-Theorie gebräuchliche Begriff zur Beschreibung eines beliebigen Elementes dieses Modells. Was eine Entität ist, hängt damit vom verwendeten Modell, d. h. vom Zweck der Anwendung ab.

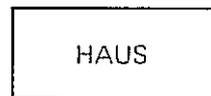
Eine Entität ist vereinfacht ausgedrückt ein abgegrenztes Objekt eines Modells der realen Welt, das durch bestimmte Attribute (vgl. 5.2.5) beschrieben wird; also beispielsweise das Haus, charakterisiert durch die Adresse «Bahnhofstrasse 21» oder durch den Eigentümer «B. Meier».

Gleichartige Entitäten, die durch gleiche oder ähnliche Merkmalswerte beschrieben werden, fassen wir zu Entitätsmengen zusammen.

Wir bilden beispielsweise eine Entitätsmenge

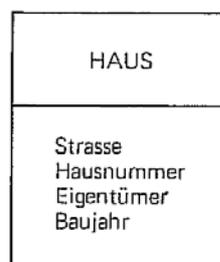
HAUS für alle zu erfassenden Häuser, indem wir von den individuellen Merkmalen der verschiedenen Häuser abstrahieren.

Wir wollen Entitätsmengen durch Kästchen darstellen, die den Namen der Entitätsmenge (in Grossbuchstaben) enthalten:



Figur 5-4 Darstellung einer Entitätsmenge

Sofern notwendig, werden die charakteristischen Attribute mit Kleinbuchstaben eingetragen, also beispielsweise für die administrativen Daten der Häuser.

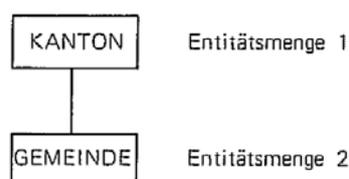


Figur 5-5 Darstellung einer Entitätsmenge mit ihren Attributen

5.2.4 Beziehungen

Die Beschreibung der Struktur besteht nicht nur aus der Aufzählung der Teile, den Entitätsmengen, sondern auch aus der Beschreibung der Beziehungen zwischen diesen.

Wir untersuchen *immer* Beziehungen zwischen zwei Entitätsmengen (z. B. Gemeinde — Kanton), die als Linien zwischen die entsprechenden Entitäts-Kästchen eingezeichnet werden.



Figur 5-6 Darstellung der Beziehung zwischen zwei Entitätsmengen

Um Beziehungen klassieren zu können, prüfen wir, wieviele Entitäten der einen Art jeweils mit

einer Entität der andern Art verbunden werden; daraus ergibt sich der Assoziationstyp.

Wir unterscheiden dabei vier Assoziationstypen für die Beziehung von der Entitätsmenge 1 zur Entitätsmenge 2:

1: einfache Assoziation

einer Entität aus der Entitätsmenge 1 ist genau eine Entität der Entitätsmenge 2 zugeordnet

c: konditionelle Assoziation

einer Entität aus der Entitätsmenge 1 ist eine oder keine Entität der Entitätsmenge 2 zugeordnet

m: multiple Assoziation

einer Entität aus der Entitätsmenge 1 sind mehrere (mindestens aber eine) Entitäten der Entitätsmenge 2 zugeordnet

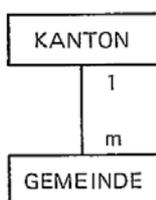
mc: multipel konditionelle Assoziation

einer Entität aus der Entitätsmenge 1 sind mehrere, eine oder auch keine Entitäten der Entitätsmenge 2 zugeordnet

Solche Assoziationen sind sowohl von der Entitätsmenge 1 zur Entitätsmenge 2 als auch umgekehrt vorhanden. In jeder Beziehung zwischen zwei Entitäten bestimmen wir deshalb *ein Paar* von Assoziationstypen, indem wir einmal von der einen, and einmal von der andern Entität ausgehen.

Zum Beispiel gehören zu jedem Kanton eine oder mehrere Gemeinden: Assoziationstyp m. Andererseits gehört zu jeder Gemeinde genau ein Kanton: Assoziationstyp 1. Die Beziehung Kanton — Gemeinde kann deshalb mit 1:m charakterisiert werden.

Dies wird im Entitäten-Block-Diagramm eingetragen:



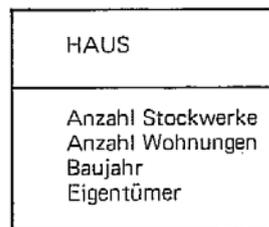
Figur 5-7 Darstellung der Assoziationstypen einer Beziehung zwischen zwei Entitätsmengen

In Ausnahmefällen werden statt der unbestimmten Anzahl m ein bestimmter Wert (2) oder ein Bereich von Werten (3...5) eingesetzt. Beispielsweise gehören zu einer Kante genau zwei Knoten (vgl. 3.5.1.1); es liegt also eine

Beziehung vor, die durch 1:2 genauer beschrieben ist als durch die allgemeinere Aussage 1: m.

5.2.5 Attribute

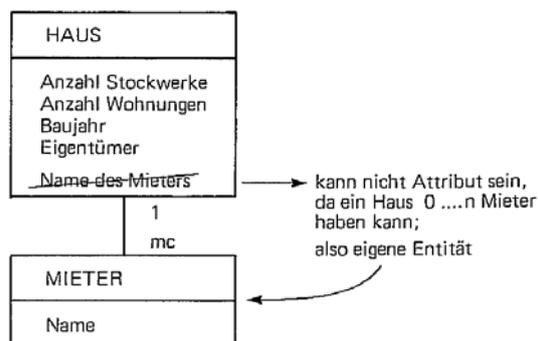
Attribute beschreiben die Eigenschaften von Entitäten näher; zu einer Entität «Haus» geben die Attribute «Anzahl Stockwerke», «Anzahl Wohnungen», «Baujahr», «Eigentümer» usw. Eigenschaften an.



Figur 5-8 Darstellung einer Entitätsmenge mit ihren Attributen

Ein Attribut darf nur einen Wert aufweisen. Werte bestimmter Attribute werden durch Konstanten aus einem bestimmten Wertebereich dargestellt. Für obiges Beispiel: «4», «8», «1960», «Hans Meier». Im allgemeinen werden wir den Wertebereich beschränken müssen (statische Wertebereiche, vgl. 5.5).

Eigenschaften, die in einer unbestimmten Zahl mit einer Entität verbunden sind, können nicht Attribut sein¹, sondern sie müssen als selbständige Entitäten behandelt werden. «Name des Mieters» kann also nicht Attribut von «Haus» sein, weil in einem Haus mehr als ein Mieter wohnen kann.



Figur 5-9

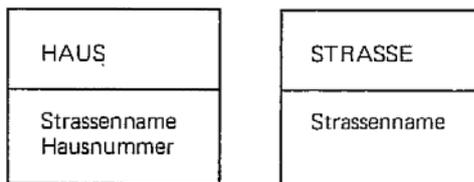
¹ Damit wird im Relationenmodell die erste Normalform sichergestellt [Zehnder 81, Seite 38].

¹ Damit wird im Relationenmodell die erste Normalform sichergestellt [Zehnder 81, Seite 38].

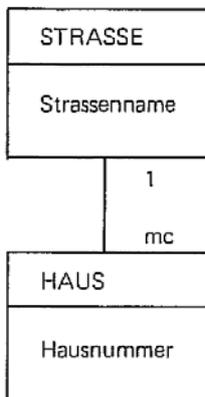
Das Attribut muss vollständig von der Entität abhängig sein: Ist eine Entität aus der Entitätsmenge gewählt, so ist damit auch der jedes Attributes bestimmt, ähnlich wie einer mathematischen Funktion, bei der jedem x ein $y_i=f_i(x)$ gehört

Die Attribute dürfen weder untereinander Abhängigkeiten aufweisen, noch von andern Entitäten abhängig sein.¹

Ein bestimmtes Attribut soll nur in einer Entitätsmenge vorkommen. Taucht es in zwei mehreren Entitätsmengen auf, wie z. B. Strassenname in HAUS und in STRASSE (Figur 5-10), so führt das zu Redundanz und weist auf versteckte Beziehungen zwischen diesen Entitätsmengen hin, solche Beziehungen müssen wir explizite einführen. Im obigen Beispiel ergibt sich:



Figur 5-10



Figur 5-11

Durch diese Beziehung kann der zu einem HAUS gehörige Strassenname jederzeit festgestellt werden und muss deshalb nicht mehr als Attribut im HAUS erscheinen.²

¹ Damit soll sichergestellt werden, dass die Attribute in der 4. Normalform sind [Fagin 77].

² Diese Regel entspricht der Konstruktionsregel 3 [Zehnder 81, 5.41] über die Verwendung von Lokal- und Global-Attributen.

5.2.6 Methoden des Abstrahierens

Eine der wichtigsten Methoden des Menschen, die Komplexität seiner Umwelt zu ordnen, ist das Abstrahieren.

Untersuchungen, die sich mit der Darstellung von Wissen auseinandersetzen, unterscheiden im allgemeinen drei Arten der Abstraktion [Mylopoulos 81], (vgl. auch [Smith 77]):

- Klassierung
- Zusammenfassung
- Generalisierung

Klassierung verbindet ein einzelnes Objekt (z. B. das Haus «Bahnhofstrasse 17») mit dem abstrakten Konzept «Haus». Meist nennen wir das einzelne Objekt ein «Vorkommen» (engl. instance) und das abstrakte Konzept «Typ».

Zusammenfassung ist die Beziehung zwischen einem Objekt und seinen Teilen (also dem Haus «Bahnhofstrasse 17» und seinen Wänden, Türen usw.).

Generalisierung ist die Beziehung zwischen einem Typ (z. B. «Haus») und einem allgemeineren, umfassenderen Begriff (z. B. «Baute»). Wir haben die *Klassierung* angewandt, als wir aus den Entitäten die Entitätsmengen und Entitätstypen gebildet haben (vgl. 5.2.3). Entitäten können als *Zusammenfassung von Attributen* aufgefasst werden. Jetzt kommt noch die Generalisierung dazu.

Als Beispiel dient die Beschreibung der Punktarten in 2.1.3.

«Triangulationspunkt»
«Polygonpunkt» und
«Nivellements punkt» } werden zum Oberbegriff
«Fixpunkt» generalisiert

Und gleich ein zweites Mal:

«Fixpunkt»
«Grenzpunkt» und
«Detailpunkt» } können zu «Punkt»
generalisiert werden.

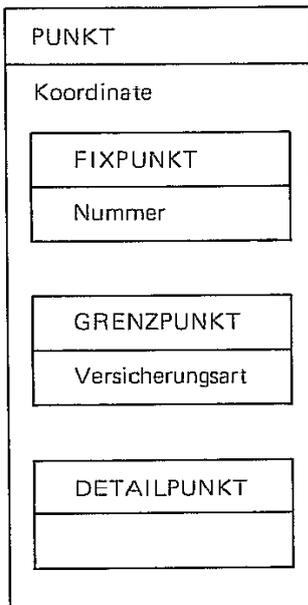
Weil in dieser Arbeit eine benützernahe Beschreibung der Daten angestrebt wird, erscheint die Generalisierung als zusätzliche Konstruktion im verwendeten Datenmodell. Dieses Vorgehen führt zu einer übersichtlichen Darstellung, die auch die zugehörigen Konsistenzbedingungen umfasst. In den gebräuchlichen Datenmodellen wird demgegenüber die Generalisierung in einfachere Konstruktionen aufgelöst.

Sind bei der Generalisierung für einen Überbegriff-Entitätstyp bestimmte Attribute festgelegt, so gelten diese automatisch auch für die Unterbegriff-Entitätstyp

Beispiel:

Ist für «Punkt» ein Attribut «Koordinate» festgelegt, so erben «Fixpunkt», «Grenzpunkt» und «Detailpunkt» dieses Attribut.

Die Generalisierung wird graphisch durch ineinandergeschachtelte Entitätskästchen dargestellt:



Figur 5-12 Darstellung der Generalisierung

5.2.7 Benutzernahes Datenmodell

Den Informatiker mag erstaunen, dass nicht eines der klassischen Datenmodelle verwendet wird, sondern versucht wird, eine benutzernähere Darstellung zu finden. Insbesondere mag befremden, dass globale Attribute und Schlüssel, wie sie im relationalen Datenmodell für die Darstellung der Beziehungen benötigt werden, fehlen.

Mehrere Gründe sprechen für die gewählte Form: Es ist m. E. sinnvoll, die Datenstruktur möglichst einfach und übersichtlich graphisch darzustellen, so dass die Darstellung auch für den Anwender verständlich bleibt. In einer solchen Darstellung sollen nur Aussagen gemacht werden, die von der Anwendung her bedeutungsvoll sind. Deshalb müssen alle EDV-technischen Details weggelassen werden.¹ In dieser Form kann die Darstellung des

¹ [De 81] unterscheidet eine semantische und eine syntaktische Aufgabe des konzeptionellen Schemas, für die er je eine eigene Darstellung vorschlägt (enterprise schema und canonical schema). Das benutzernahe Schema entspricht seinem enterprise schema, zu dessen

Datenbank-Schema zur Diskussionsgrundlage zwischen Anwender und Datenbank-Spezialist werden. Eine sehr ähnliche graphische Übersicht kann später dem Benutzer auch bei der Formulierung von Abfragen helfen [Frank 82a].

Es soll hier darauf hingewiesen werden, dass beispielsweise die Forderung, dass für jede Entität ein Schlüssel notwendig ist (Konstruktionsregel 1 [Zehnder 81, S. 36]), durch das relationale Datenmodell und nicht durch die Anforderungen der Benutzer begründet ist. Deshalb werden hier Schlüssel nur soweit berücksichtigt, als sie für die Verarbeitung vom Benutzer her gesehen notwendig sind (vgl. 5.7). Gleichzeitig werden die anwendungsbezogenen Festlegungen so gemacht, dass sie von der Implementierung fast vollkommen unabhängig werden. Je nach gewähltem Datenbanksystem wird der Datenbank-Spezialist die graphische Darstellung mehr oder weniger mechanisch in die entsprechende Data-Description-Language übersetzen können.

Kapitel 5.3

Datenbank-Entwurf

5.3.1 Redundanz

5.3.2 Mutationsanomalien

5.3.3 Normalformen

Durch die Datenanalyse werden Daten und ihre Beziehungen systematisch beschrieben. Aufgabe des Datenbank-Entwurfes ist nicht nur die Übersetzung dieser Feststellungen in eine formal eindeutige, für das Datenbanksystem verständliche Form, sondern auch die Überprüfung und allenfalls Verbesserung dieser Datenstruktur, um Schwierigkeiten bei der Anwendung auszuschließen (sogenannte Mutationsanomalien).

5.3.1 Redundanz

Redundant nennt man in der Informationstheorie jenen Teil einer Mitteilung, der weggelassen werden könnte, ohne dass die Mitteilung an Information verlöre [Shannon 49].

Darstellung er eine ähnliche Methode wie die hier entwickelte (entity-relationship Diagram [Chen 76]) wählt.

In der Informatik nennen wir gespeicherte Daten redundant, wenn sie andere gespeicherte Daten duplizieren oder wenn sie aus andern gespeicherten Daten abgeleitet werden können.

Gemeinde	Kanton	Autokennzeichen
Zürich	Zürich	ZH
Schlieren	Zürich	ZH
Marthalen	Zürich	ZH
Ossingen	Zürich	ZH
Cham	Zug	ZG
Köniz	Bern	BE

Figur 5-13 Beispiel «Gemeinde»

Wird mit jeder Gemeinde als Attribut auch der Name und das Autokennzeichen des Kantons mitgespeichert, so ist dies redundant, weil bei jeder Gemeinde eines Kantons erneut die Information «das Autokennzeichen des Kantons x ist y» auftaucht. Die Speicherung an einer Stelle würde ausreichen.

Oder, wenn für die Parzelle neben den begrenzenden Kanten und den Koordinaten der Endpunkte auch die Parzellenfläche (genau: die Flächenmasszahl) gespeichert wird, so ist dies redundant, weil sich das Flächenmass jederzeit aus den gespeicherten Koordinaten berechnen lässt.

Redundanz ist nicht nur unerwünscht, weil sie die zu speichernde Datenmenge vergrössert - also mehr Speicherplatz erfordert -, sondern weil bei der Nachführung redundanter Daten besondere Probleme, die sogenannten Mutationsanomalien (anomalies in update) [Vetter 77] auftauchen.

5.3.2 Mutationsanomalien

Werden Daten verändert, die mehrfach, also redundant, gespeichert sind, so müssen alle Vorkommen gefunden und verändert werden, auch wenn diese nicht direkte Kopien der zu ändernden Daten sind. Das kann oft schwierig sein.

Wird also im Beispiel der Parzelle die Grenze verändert, so muss dafür gesorgt werden, dass auch die allenfalls gespeicherte Flächenmasszahl entsprechend angepasst wird. Andererseits darf man nicht zulassen, dass allein die Flächenmasszahl verändert wird. Denn wie soll dann die Flächendefinition automatisch angepasst werden?

Ein anderes Beispiel:

Werden in Figur 5-13 die Daten der Gemeinde «Marthalen» «Zürich» «ZH» in «Marthalen» «Zürich» «ZU» geändert, so ist nicht klar, wie das zu interpretieren ist: Will man das Autokennzeichen für «Zürich» generell neu auf «ZU» ändern, was dann auch bei allen andern zürcherischen Gemeinden vorzukehren wäre, oder soll das nur für

Marthalen gelten?

5.3.3 Normalformen

Um Redundanz und die daraus folgenden Probleme beim Mutieren einer Datenbank zu verhindern, wurden Bedingungen für die Datenstrukturen aufgestellt [Codd 71], [Fagin 81]. Sind diese Bedingungen erfüllt, so sagt man, das Schema sei in Normalform.

Diese Normalisierungsregeln sind in [Zehnder 81, S.38ff.] für das relationale Datenmodell erklärt.

Sie dienen dazu, zu erkennen, ob die sich aus der Anschauung ergebenden Entitätsmengen zu Mutationsanomalien führen könnten. In diesem Fall muss der Entitätstyp in zwei Entitätstypen aufgeteilt werden, wobei zwischen diesen beiden eine Beziehung eingeführt wird. Die Normalisierungsregeln sind damit eigentlich die operationelle Definition des Begriffes Entität; sie helfen zu entscheiden, was eine Entität und was Attribut einer Entität ist (vgl. 5.2.5).

In dieser Arbeit werden die Normalisierungsregeln nicht in der traditionellen Form auf Relationen angewandt, sondern es werden die sich daraus ergebenden Folgerungen direkt bei der Gestaltung des Entitäten-Block-Diagramms berücksichtigt.

Kapitel 5.4

Die Datenstruktur eines Landesinformationssystems im erweiterten Entitäten-Block-Diagramm

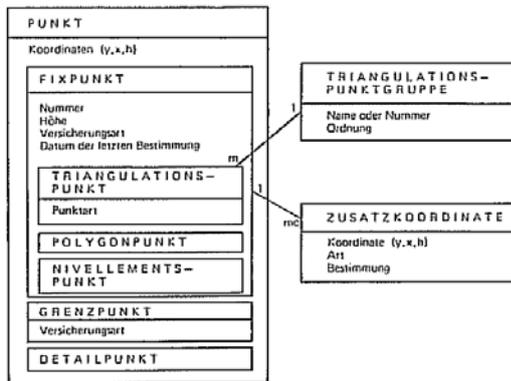
- 5.4.1 Punkte
- 5.4.2 Kanten
- 5.4.3 Netze
- 5.4.4 Partitionen und Hierarchien von Partitionen
- 5.4.5 Hoheitsgrenzen
- 5.4.6 Parzellen und Nutzungsflächen
- 5.4.7 Bauten
- 5.4.8 Verkehrsfläche
- 5.4.9 Zusammenfassung

Die zuvor analysierten Daten werden nun Stück um Stück in einem Entitäten-Block-Diagramm dargestellt.

Detailliert diskutiert werden die geometrischen Aspekte der in Plänen gespeicherten Daten; für die übrigen weniger problematischen Daten wird nur das Ergebnis gezeigt.

5.4.1 Punkte

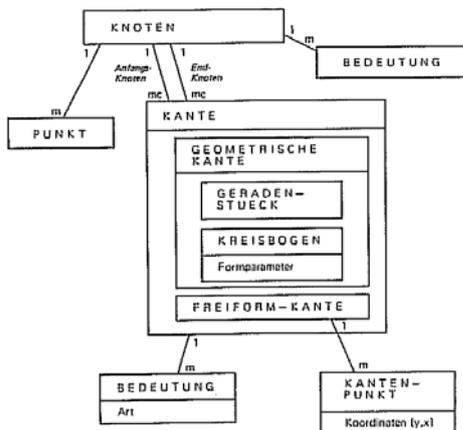
Nach den Ausführungen in 2.1.3 ergibt sich für «Punkt» z. B. folgende Struktur:



Figur 5-14

5.4.2 Kanten

Hier sind die Ausführungen in 3.2.5 und 3.5.2 massgebend:



Figur 5-15

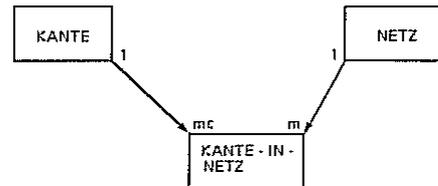
5.4.3 Netze

Eine Kante kann in mehreren Netzen eingeschlossen sein und ein Netz besteht meist aus einer grösseren Zahl von Kanten.



Figur 5-16

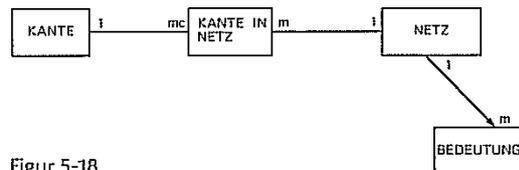
Diese m :mc-Beziehung muss nach den Konstruktionsregeln (Konstruktionsregel 3 [Zehnder 81, 5.47]) aufgeteilt werden in



Figur 5-17

5.4.4 Partitionen und Hierarchien von Partitionen

Die Teilflächen einer Partition bilden eine eigene Entität, d. h. wir betrachten die Teilfläche als eigenes Netz (Figur 5-18).



Figur 5-18

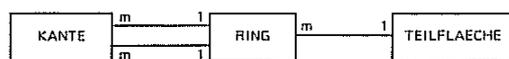
Wir können aber auch die Feststellung, dass jede Kante zwei Flächen begrenzt ausdrücken. Das erlaubt einen direkteren Zugang von einer Fläche zur Nutzungsfläche.



Figur 5-19

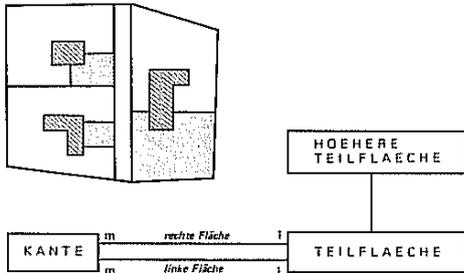
Hier ist vorausgesetzt, dass auch die äussere Restfläche gespeichert wird, sonst wäre es eine 1:mc-Beziehung, denn die äusseren Kanten würden nur eine Fläche begrenzen (vgl. Figur 4-14).

Sind die Teilflächen nicht immer einfach zusammenhängend, sondern kommen Exklaven und Enklaven (Inseln) vor, so tritt eine zusätzliche Entität zwischen Kante und Teilfläche:



Figur 5-20

Dieser Fall wird im folgenden zur Vereinfachung nicht mehr erwähnt



Figur 5-21

Hierarchien von Partitionen wie z. B. Nutzungsflächen, die zu Parzellen zusammengefasst werden (wie z. B. in Figur 5-21 oben), können dargestellt werden, indem nur die Teilflächen der untersten Stufe (also z. B. die Nutzungsflächen) gespeichert werden. Die Teilflächen der höheren Stufe (also z. B. die Parzellen) werden aus der Geometrie der tieferen Stufe abgeleitet (Figur 5-21).

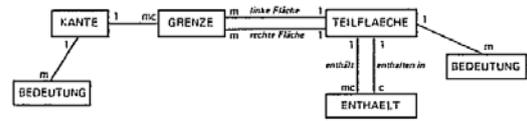
Dazu ist jeweils erforderlich, dass man alle Kanten der Teilflächen tieferer Stufe darauf untersucht, ob sie zwei Teilflächen begrenzen, die zur selben Teilfläche der höheren Stufe gehören. Wird dies festgestellt, dann fällt diese Kante auf der höheren Stufe weg, wenn nicht, handelt es sich auch auf der höheren Stufe um eine Grenze. Dieses Verfahren scheint zu aufwendig, besonders wenn wir mehrere Hierarchiestufen behandeln müssen.

Wir speichern besser die Teilflächen jeder hierarchischen Stufe einer Partition mitsamt ihrer Geometrie (Figur 5-22):



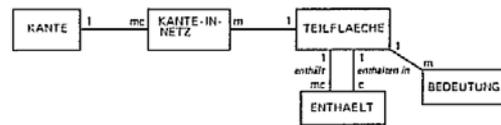
Figur 5-22

Die Teilflächen höherer Stufe enthalten nun wiederum Teilflächen der niederen Stufe. Diese rekursive Beziehung und die m:m-Beziehung zwischen Kante und Teilfläche müssen nach den Konstruktionsregeln [Zehnder 81, 5.49] durch zusätzliche Entitäten aufgespalten werden.



Figur 5-23

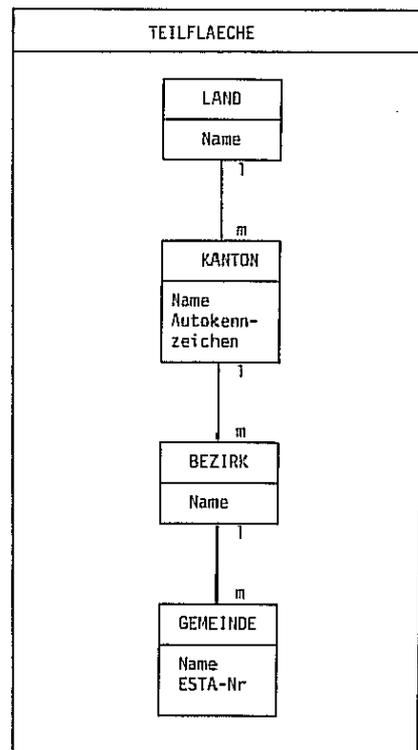
Einfacher ist nun, trotz des geringen Mehraufwandes für das Aufsuchen des Nachbarn, für die Beziehung Kante - Teilfläche die Lösung aus Figur 5-18:



Figur 5-24

5.4.5 Hoheitsgrenzen

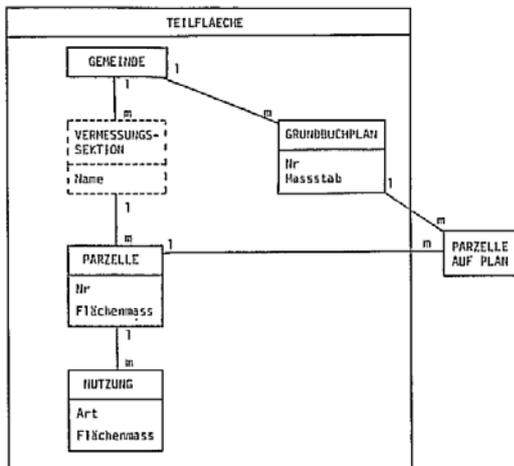
Alle Hoheitsgrenzen bilden spezielle Teilflächen:



Figur 5-25

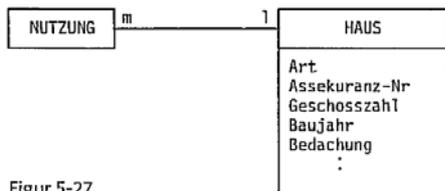
5.4.6 Parzellen und Nutzungsflächen

Auch Parzellen und die darin ausgeschiedenen Flächen der Nutzungsarten gemäss Arealstatistik sind Teilflächen.



Figur 5-26

Die Aufteilung der Beziehung Parzelle — Grundbuchplan ist notwendig, weil es sich um eine m:n-Beziehung handelt; eine Parzelle kann sich über mehrere Pläne erstrecken, ein Plan umfasst eine oder mehrere Parzellen (wie vorne in Figur 5-16 und 5-17).

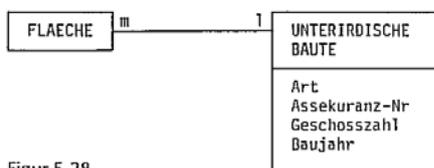


Figur 5-27

5.4.7 Bauten

Gebäudegrundflächen werden als Nutzungsflächen ausgeschieden.

Unterirdische Bauten, wie Parkgaragen, Reservoirs usw. werden nicht als spezielle Nutzungsflächen ausgeschieden, sondern müssen separat durch eine Fläche¹ dargestellt werden, was Anlass zu einer Generalisierung gibt:

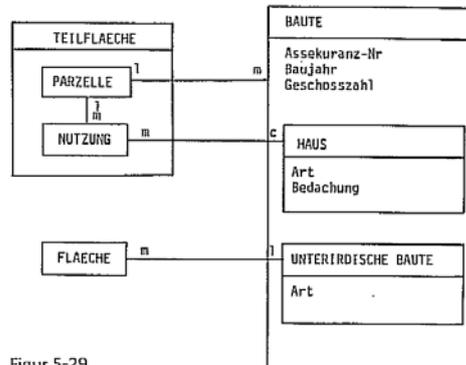


Figur 5-28

¹ Fläche ist nicht Teilfläche einer Partition, sondern eine geometrische Grundstruktur mit den Eigenschaften:

- alle Kanten bilden Zyklen (damit sich Flächen bilden),
- Kanten dürfen sich schneiden (Flächen dürfen sich überlappen).

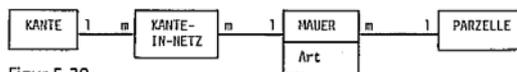
(Geometrische Grundstruktur 12 in Figur 4-11)



Figur 5-29

Jede Baute gehört zu einer Parzelle bzw. dem Eigentümer der betreffenden Parzelle. Eine Baute kann sich aber auch noch über andere Parzellen erstrecken (Überbaurecht), was durch die Beziehung Baute — Nutzung — Parzelle genügend ausgedrückt ist

Schliesslich müssen auch noch Mauern usw. aufgenommen werden. Sie werden am besten auch der Parzelle zugeordnet:



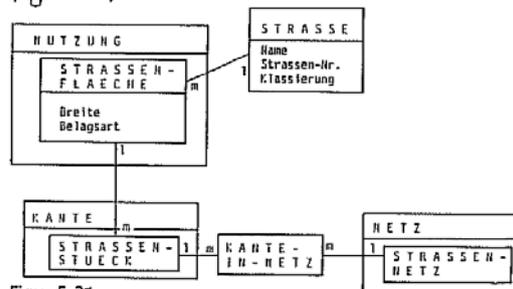
Figur 5-30

5.4.8 Verkehrsflächen

Strassen und Wege, aber auch Eisenbahnen und Gewässer können unter zwei verschiedenen Gesichtspunkten betrachtet werden:

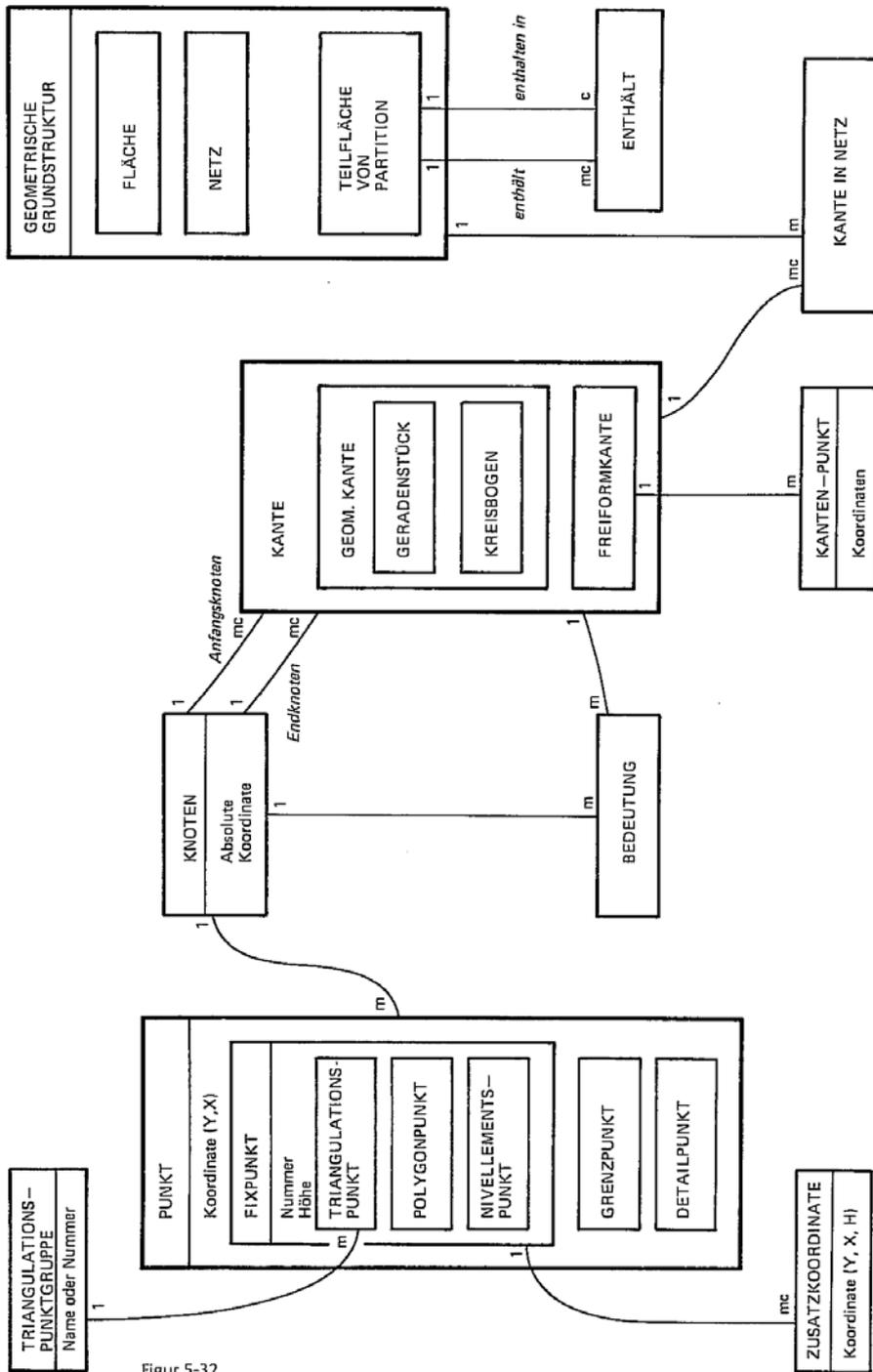
- erstens sind es als Nutzungsflächen ausgeschiedene *Flächen*,
- zweitens sind es Verbindungslinien, die ein Kommunikationsnetz bilden.

Diese mehrfache, gleichberechtigte Betrachtungsweise für die gleichen Objekte scheint recht typisch für CAD²-Datenbanken [Härder 82], zu denen in diesem Zusammenhang auch Landinformationssysteme zu zählen sind (vgl. 5.6.4).

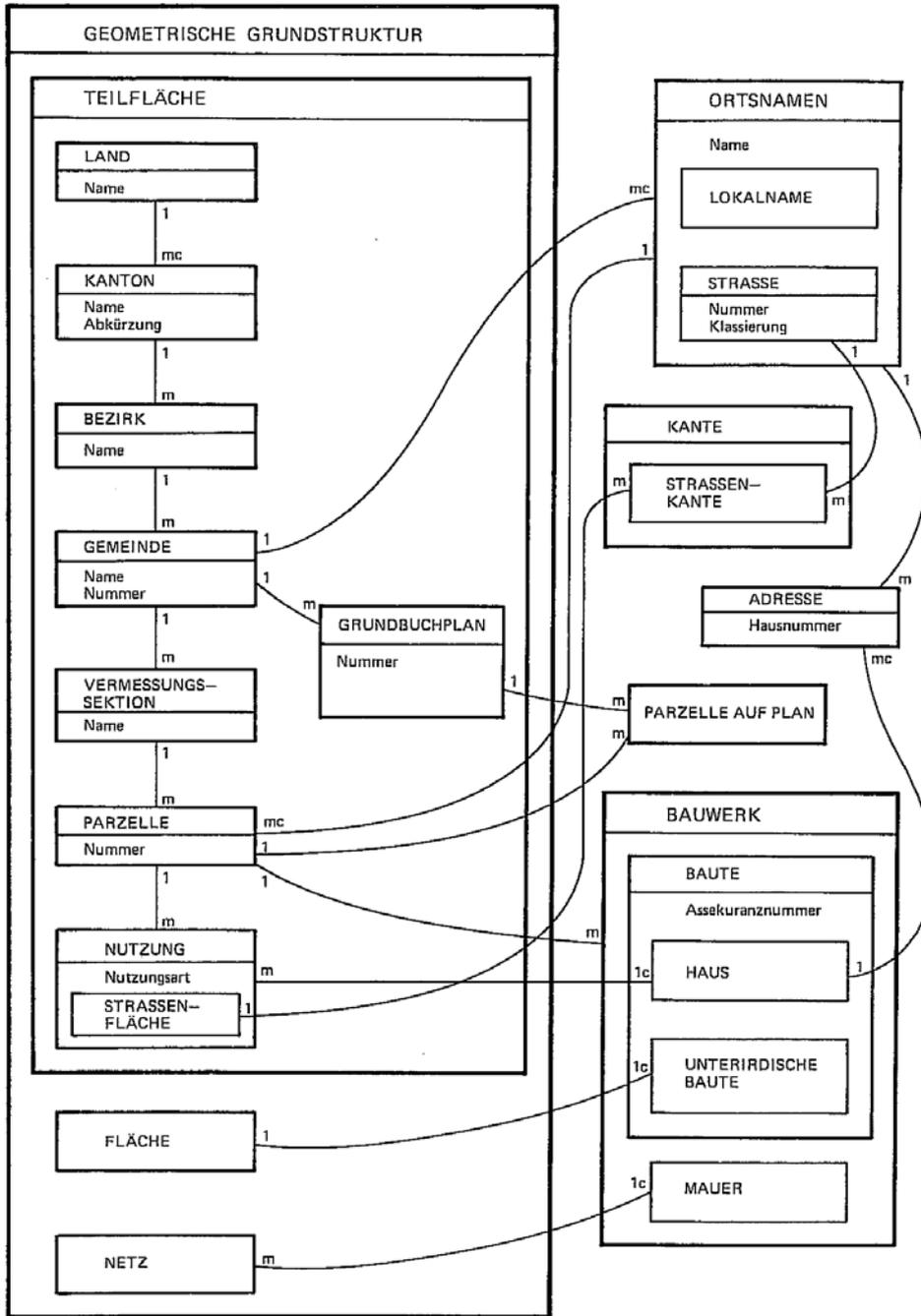


Figur 5-31

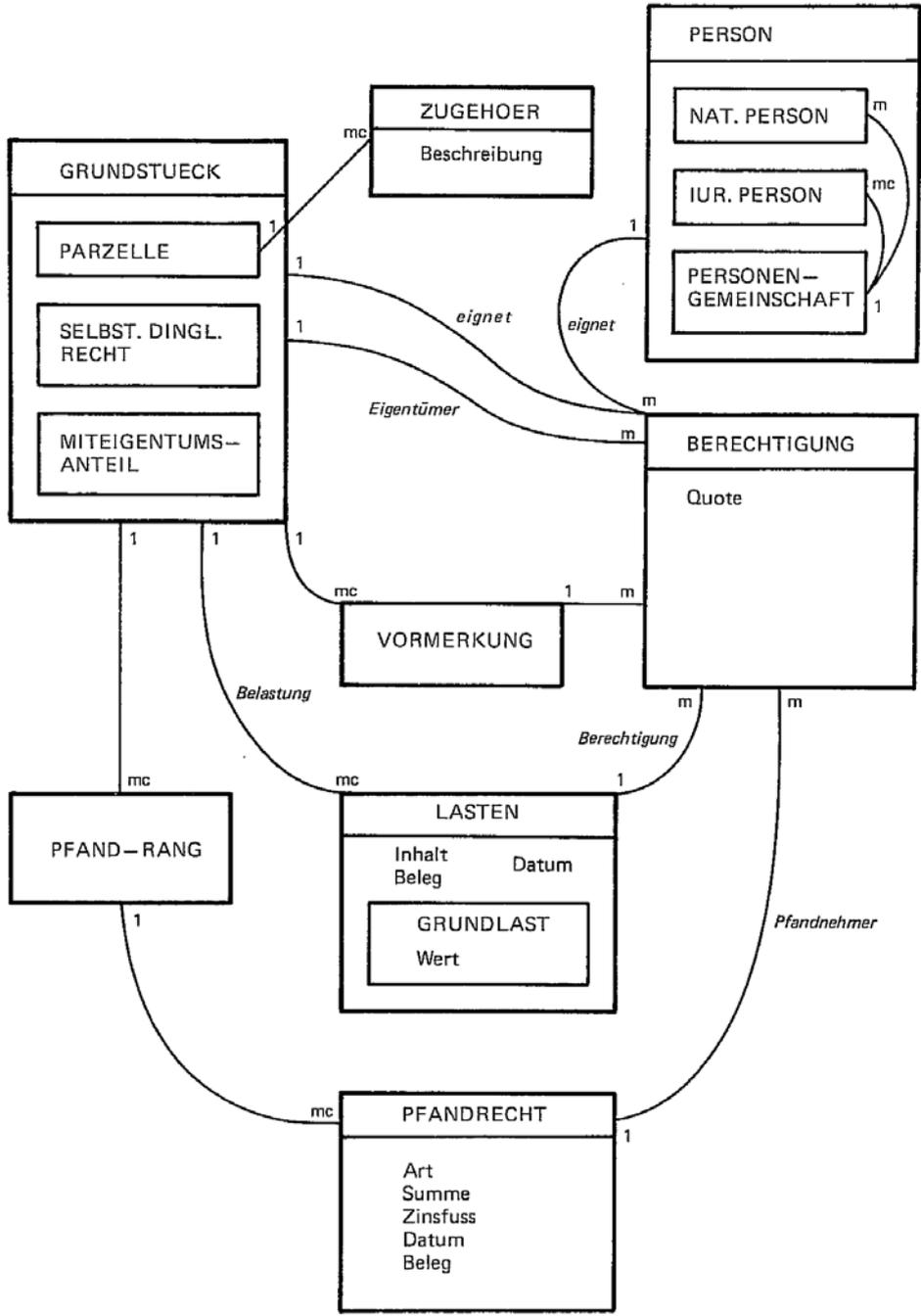
² CAD-Computer aided design, etwa zu übersetzen mit computerunterstütztem Entwurf.



Figur 5-32



Figur 5-33



Figur 5-34

5.4.9 Zusammenfassung

Eine ausgewählte Zahl von Entitäten, wie sie sich aus der Analyse ergeben hat, wurde detailliert untersucht. Hier werden nur die einzelnen Ausschnitte aus dem Entitäten-Blockdiagramm im Überblick dargestellt. Trotz der grossen Zahl von 68 Entitäten ist durch konsequente Anwendung der Generalisierung ein noch einigermaßen überblickbares Schema entstanden.

Kapitel 5.5

Einfache Konsistenzbedingungen

5.5.1 Statische Wertebereiche

5.5.2 Abhängigkeit der Attributwerte innerhalb einer Entität

5.5.3 Eindeutigkeit von Attributwerten

5.5.4 Existenzbedingungen

5.5.5 Zusammenfassung

In diesem Kapitel wird ein kurzgefasster Überblick über die verschiedenen Arten von Konsistenzbedingungen gegeben, wie sie in einem Datenbanksystem mit der Datenbeschreibungssprache ausgedrückt werden können.

5.5.1 Statische Wertebereiche

Für jedes Attribut ist ein Wertebereich festzulegen, und zwar muss dies statisch, d. h. durch Konstanten erfolgen (Konstruktionsregel 3 [Zehnder 81, 5.47]). Es kann beispielsweise festgelegt werden, dass

Koordinatenwerte

X zwischen 62000 und 302000

Y zwischen 480000 und 865000

liegen müssen.

Gleichzeitig wird auch deren

Einheit (hier z. B. Meter mit vier Stellen nach dem Komma) festgelegt.¹

¹ Hier müsste die Conceptual Schema Language in der Art von ADA erweitert werden [ADA 79]:
type X-Koordinatenwert is delta 0.0001 range 62000..302 000;
type Y-Koordinatenwert is delta 0.0001 range 480000..865 000.

Diese Möglichkeit, ohne die exakte Beschränkung des Wertebereiches, besteht auch in COBOL mit der

Es kann aber auch festgelegt werden, dass die Werte («Bolzen», «Stein», «Kreuz», «unvermarkt», «Rohr», «Holzpfehl», «Kunststoffmarke») sein muss, und schliesslich kann vorgeschrieben werden, wie sich

Punktnummern zusammensetzen.

Diese recht einfachen, aber wichtigen Feststellungen können den regional verschiedenen Gegebenheiten (Punktnummerierung usw.) angepasst werden.

5.5.2 Abhängigkeit der Attributwerte innerhalb einer Entität

Solche Abhängigkeiten zwingender Art sind im Anwendungsbereich Landinformationssysteme selten. In den meisten Fällen handelt es sich eher um Plausibilitätskontrollen, wobei — sehr selten — Ausnahmen auftreten.

Dazu einige Beispiele:

- Häuser mit Baujahr vor 1930 haben keine Flachdächer,
- die Geschosszahl eines Hauses steht in einem bestimmten Verhältnis zur Grundfläche und zur Bruttogeschosszahl, usw.

Dazu ist zu beachten, dass im Schema beschriebene Bedingungen immer zwingende Abhängigkeiten sind, bei denen keine Ausnahmen zulässig sind. Deshalb wäre es sinnvoll, wenn man im Schema Plausibilitätsregeln formulieren und gleichzeitig angeben könnte, wie Ausnahmen zu behandeln sind. Das ist ein zur Zeit noch nicht gelöstes Problem.

5.5.3 Eindeutigkeit von Attributwerten

Benutzer wählen Entitäten, deren Daten sie benötigen, aus, indem sie ein eindeutiges Kennzeichen für diese Entitäten angeben.

Beispiele:

Parzellenummer als Kennzeichen einer Parzelle.

AHV-Nummer als Kennzeichen einer Person.

Ein eindeutiges Kennzeichen nennt man *Schlüssel*. Ein Schlüssel kann ein einzelnes Attribut der Entität oder auch eine Kombination von Attributen der Entität sein.

«PICTURE 999 999.9999»-Vereinbarung.

Beispiel:

Die Nummer eines Triangulationspunktes (L+T-Nummer) setzt sich aus der Kartenblatt-Nummer, dem Streifen und der eigentlichen Punktnummer zusammen.

In vielen Fällen sind die Schlüssel nur innerhalb eines bestimmten Bereiches eindeutig. Dann erfolgt eine eindeutige Identifizierung erst durch den Schlüssel des Eindeutigkeitsbereiches zusammen mit dem Schlüssel der Entität.

Beispiel:

Polygonpunktnummern sind meist nur innerhalb einer Gemeinde eindeutig.

Während der Anwendung kann man im allgemeinen nicht entscheiden, ob ein bestimmtes Attribut Schlüssel ist oder nicht. Deshalb ist es notwendig, beim Entwurf der Datenbank zu vereinbaren, welche Attribute diese Aufgabe übernehmen sollen. Nachher ist es dann Aufgabe des Datenbankverwaltungssystems, da zu sorgen, dass nicht zwei Entitäten mit dem gleichen Schlüssel gespeichert werden.

5.5.4 Existenzbedingungen

Es ist beispielsweise nicht zulässig, ein Haus mit einem Strassennamen zu speichern, wenn nicht vorher eine Strasse mit diesem Strassennamen gespeichert wurde. Diese Art von Konsistenzbedingungen fordert also die Existenz einer bestimmten Entität, bevor eine bestimmte andere Entität gespeichert werden kann.

Diese Konsistenzbedingungen sind im Entitäten-Block-Diagramm bereits durch die Beziehungen und die Beziehungstypen genau beschrieben.

5.5.5 Zusammenfassung

Mit diesen Möglichkeiten zur Beschreibung von Konsistenzbedingungen ist das Angebot heutiger Datenbanksysteme etwa erschöpft. Möglicherweise ist mit diesen Arten von Konsistenzbedingungen aber auch das erschöpft, was *allgemeine* Datenbanksysteme vernünftigerweise, d. h. bei annehmbarer Leistungsfähigkeit, überhaupt anbieten können.

Es muss hier generell daran erinnert werden, dass die Prüfung von Konsistenzbedingungen einen ganz erheblichen Aufwand bedeutet, der die Laufzeit von Datenbank-Programmen fühlbar verlängern kann.

Kapitel 5.6

Komplexe Konsistenzbedingungen

5.6.1 Einbau zusätzlicher Konsistenzbedingungen in ein Datenbanksystem

5.6.2 Konsistenzbedingungen für geometrische Primitive

5.6.3 Konsistenzbedingungen für geometrische Grundstrukturen

5.6.4 Objekte mit mehrfachen Darstellungen

5.6.5 Metadaten zur Beschreibung der geometrischen Grundstrukturen

Im letzten Kapitel wurden diejenigen Konsistenzbedingungen der Datenstruktur eines Landinformationssystems analysiert, die mit den Mitteln der allgemeinen Datenbanksysteme im Schema ausgedrückt werden können. Dieses Kapitel ist zusätzlich, komplexeren Konsistenzbedingungen gewidmet

Zuerst wird erklärt, wie diese formuliert werden müssen, und dann eine Möglichkeit gezeigt, wie solche Konsistenzbedingungen in ein Datenbanksystem eingebaut werden können. Schliesslich werden die für ein Landinformationssystem typischen Konsistenzbedingungen diskutiert.

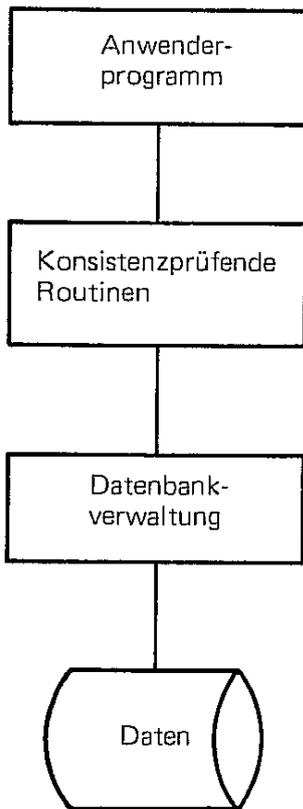
5.6.1 Einbau zusätzlicher Konsistenzbedingungen in ein Datenbanksystem

Die im Schema mit der Data Description Language (vgl. 5.1.4) beschreibbaren Konsistenzbedingungen müssen auf die immer wieder auftretenden, leicht zu prüfenden wie sie in Kapitel 5.5 beschrieben wurden, beschränkt bleiben. Andere Konsistenzbedingungen, die fast beliebig komplex sein können, werden am einfachsten als Routinen in der verwendeten Programmiersprache formuliert.

In diesem Fall werden eine Anzahl einfacher Operationen der Datenbank (z. B. Speichern, Suchen, Ändern) mit andern Operationen der Programmiersprache zu einer Routine zusammengefasst. Diese Routinen bestehen aus zwei Teilen: ein (erster) *Vorbereitungsteil* prüft, ob die Bedingungen, die Gewähr bieten, dass das Ergebnis der Operation (consistent ist, erfüllt sind, bevor der (zweite) *Änderungsteil* ausgeführt werden darf. Sind die Bedingungen nicht erfüllt, so wird der Änderungsteil nicht ausgeführt, also am Datenbestand nichts geändert; im allgemeinen wird dann eine Fehlermeldung ausgegeben.

Solche Routinen können zwischen das Datenbankverwaltungssystem und die eigentlichen Anwenderprogramme eingefügt werden (Figur 5-36).

Es muss dann verhindert werden, dass die Anwenderprogramme diese Kontroll-Routinen umgehen und so direkt die Daten in der Datenbank verändern können. Das ist mit den modernen Programmiersprachen MODULA [Wirth 82], ADA [ADA 79] u.ä. einfach zu erreichen. Im LIDAS-Datenbanksystem, das im Institut für Informatik der ETH Zürich entwickelt wird [Rebsamen 82], strebt man an, diese konsistenzprüfenden Prozeduren schon bei der Eingabe der Datenbeschreibung im interaktiven Modus zu erstellen [Rebsamen 83].



Figur 5-36

5.6.2 Konsistenzbedingungen für geometrische Primitive

5.6.2.1 Knoten

Die Bedingung, dass Knoten eindeutig sein müssen, lässt sich nicht allein mit einer Eindeutigkeitsbedingung für das Koordinatenpaar beschreiben.

Aus den in 3.4.4 aufgeführten Gründen muss für Knoten, die sehr nahe beieinanderliegen, vom Benutzer bei der Dateneingabe entschieden werden, ob es sich um zwei verschiedene Punkte handelt oder nicht. Je nach dem Entscheid des Benützers wird dann entweder die neu einzugebende Information dem bereits bestehenden Knoten zugeordnet oder es wird ein neuer Knoten - eventuell mit den gleichen Koordinatenwerten wie beim bestehenden - gespeichert, der dann aber einem andern Punkt der Realität entspricht.

Vor dem Speichern eines neuen Knotens muss ferner für alle gespeicherten Kanten geprüft werden, ob dieser Knoten in unmittelbarer Nähe einer bereits gespeicherten Kante liegt, und es ist allenfalls ein Entscheid des Benützers herbeizuführen, ob der Knoten in der Kante liegen soll oder nicht Soll er in die Kante gelegt werden, so ist diese zu teilen (vgl. 3.7.2).

Knoten dürfen nur gelöscht werden, wenn sie keine Kante begrenzen, oder wenn sie Kanten lediglich teilen und wenn sich dabei die Form der Kanten durch das Wegnehmen des Knotens nicht ändert (vgl. 3.7.4).

5.6.2.2 Kanten

Für Kanten mit bestimmter Bedeutung muss der Benutzer spezifizieren können, dass sie sich nicht schneiden dürfen, ohne dass ein allfälliger Schnittpunkt ein Knoten sei. Auch muss man verbieten können, dass sich Kanten unterschiedlicher Bedeutung schneiden; dies besonders im Hinblick auf Hierarchien von Partitionen (vgl. 3.5.6 und 4.3.2).

Beispiel:

Weil «Nutzung» eine hierarchisch tiefere Partition von «Parzelle» ist, dürfen Parzellengrenzen-Kanten weder andere Kanten mit der Bedeutung «Parzelle», noch solche mit der Bedeutung «Nutzung» schneiden.

Eindeutigkeit der Kanten verbietet, dass zwei Kanten mit gleicher Form zwischen zwei Knoten gespeichert werden. Schwierigkeiten entstehen daraus, dass die Kante (A, B, form) und die Kante (B, A, - form) identisch sind und es deswegen nicht ausreicht zu prüfen, dass gleiche Werte für die Kombination (A, B, form) nicht zweimal vorkommen (vgl. 3.2.6).

5.6.3 Konsistenzbedingungen für geometrische Grundstrukturen

5.6.3.1 Partitionen und Hierarchien von Partitionen

Die beim Teilen und *Vereinigen* von Partitionen zu beachtenden Bedingungen, insbesondere auch im Hinblick auf die in einer Partition enthaltenen Teilflächen tieferer Stufe, sind in 4.3.3 ausführlich dargestellt worden. Sie sollen deshalb hier nicht wiederholt werden.

5.6.3.2 Netze

Für Netze und deren Operationen, nämlich Einfügen und Entfernen von Kanten bzw. von Mengen von Kanten, gelten unterschiedliche Bedingungen, die in 4.4.3 aufgeführt wurden.

5.6.4 Objekte mit mehrfachen Darstellungen

In Landinformationssystemen werden Objekte gespeichert, deren Daten nicht nur für unterschiedliche Anwendungen verwendet, sondern dabei auch in sehr unterschiedlicher Form benötigt werden.

Die in 5.4.8 erwähnte mehrfache, gleichberechtigte Betrachtungsweise erfordert spezielle Konsistenzbedingungen.

Grundsätzlich sollte das nach [ANSI/X3/SPARC] vorgesehene externe Schema (vgl. 5.1.5) erlauben, Umwandlungen von Daten aus der internen Form in spezielle, von den Anwendern gewünschte Formen zu erzeugen. Dabei ist aber vor allem an einfache Umwandlungen, z. B. von Zahlen in Zeichenketten oder ähnliches, gedacht worden¹, kaum aber wurde an die unterschiedlichen Betrachtungsweisen, wie sie bei geometrischen Objekten vorkommen können, gedacht: ein Strassenstück kann als Fläche betrachtet werden, das gleiche Strassenstück kann aber auch Kante in einem Strassennetz sein.

Beide Betrachtungsweisen sind gleich sinnvoll; die Ableitung der einen aus der andern ist aber schwierig² oder überhaupt nicht möglich. In diesen

¹ Solche Umwandlungen sind in [CODASYL 73] vorgesehen und werden auch in neueren Datenbanksystemen angewendet, denen das relationale Datenmodell zugrunde liegt [ORACLE 79]. Nur in experimentellen Datenbanksystemen, z. B. System R [Astrahan 76], sind weitergehende Umwandlungen und Umgruppierungen (sog. *views*) einbezogen worden

² K. Brassel (Universität, Zürich) arbeitet an einem Algorithmus, der dazu benutzt werden kann, aus der Strassenfläche die Strassennetz-Kanten zu berechnen.

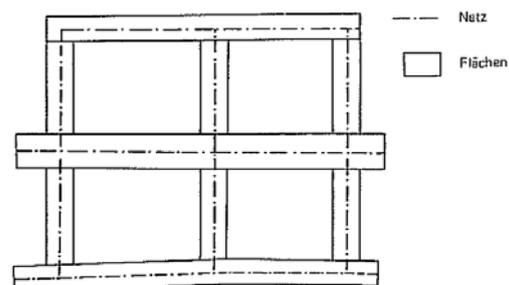
Fällen ist es deshalb notwendig, beide Formen nebeneinander zu speichern. Damit wird Redundanz eingeführt und es müssen Konsistenzbedingungen formuliert werden.

Beispielsweise muss für Strassen gelten: Strassennetz-Kanten liegen vollständig innerhalb der Strassenflächen.

Wenn schon die Umformung im Rahmen einer Abfrage schwierig ist, so stellen sich bei Änderungen zusätzliche Probleme:

Wird die Strassenfläche verändert, so müssen auch die Strassennetz-Kanten angepasst werden (evtl. kann dies automatisch geschehen). Änderungen an den Strassennetz-Kanten sind soweit erlaubt, als die Kante innerhalb der Strassenfläche bleibt.

Offensichtlich lassen sich für den Einzelfall Regeln angeben, eine umfassende theoretische Betrachtung steht aber noch aus.³



Figur 5-37 Strasse als Strassennetz und als Strassenflächen dargestellt

5.6.5 Metadaten zur Beschreibung der geometrischen Grundstrukturen

Die Klassierung (vgl. 5.2.6), die einzelne Objekte (z. B. das Haus «Bahnhofstrasse 17» und andere Häuser) zur Entitätsmenge von Häusern zusammenfasst, schafft zwei Arten von grundsätzlich verschiedenen Dingen: die Vorkommen und die Typen. Die meisten Daten in einer Datenbank beschreiben *Vorkommen*, d. h. sie beschreiben z. B. die verschiedenen Häuser in einer Gemeinde. Andere Daten hingegen beschreiben Eigenschaften von *Typen*, also z. B. die abstrakten Eigenschaften von Wohnhäusern, Parzellen usw.; diese Aussagen über Abstraktionen werden *Metadaten* genannt.

³ Für diesen Aspekt sind die m. E. noch nicht abgeschlossenen Arbeiten über «update of views» (z. B. [Stonebraker 75], [Bancilhon 81]) wichtig, wobei die hier angetroffenen Probleme wegen der Komplexität der Transformationsmethoden zwischen den verschiedenen Darstellungsweisen eher noch schwieriger zu lösen sind.

Für die geometrischen Grundstrukturen müssen wir also auf der Meta-Ebene beschreiben, welche Konsistenzbedingungen für eine bestimmte Bedeutung der Knoten und Kanten gelten sollen. Wir werden also in der Datenbank für die Kanten jeder Bedeutung festlegen, welche Kanten anderer Bedeutung von diesen Kanten nicht geschnitten werden dürfen, ob die geometrische Grundstruktur zusammenhängend sein muss usw.

Sinnvoll scheinen pro Bedeutung etwa folgende Angaben:

schneidet nicht:	Bedeutungen von Kanten, die nicht geschnitten werden dürfen
zusammenhängend:	wahr/falsch
Zyklen verboten:	wahr/falsch
Partition:	wahr/falsch
Fläche:	wahr/falsch
Überlappen verboten:	Bedeutungen von Flächen, die die zu speichernde nicht überlappen darf

Als Beispiel für Parzellen:

schneidet nicht	: = [Gemeinde, Parzelle, Nutzung];
zusammenhängend	: = wahr;
Zyklen verboten	: = falsch;
Fläche	: = wahr;
Überlappen verboten	: = [Parzellen]

5.7.1 Notwendigkeit der Vereinbarung von Zugriffspfaden

Prinzipiell kann jede Entität herausgesucht werden, wenn sie durch gegebene Attribute genügend bestimmt ist. Es kann immer der Datenbestand systematisch von vorne nach hinten Entität um Entität abgesucht werden. Ein solches Verfahren ergibt bei einer grossen Datenbank lange Wartezeiten und ist daher nur in Ausnahmefällen akzeptabel. Die Datenorganisation muss auf die häufigen Zugriffe, wie sie für die alltäglichen Geschäfte notwendig sind, abgestimmt werden, so dass die gewünschten Entitäten in nützlicher Frist gefunden werden. Es ist deshalb notwendig, die häufig benötigten Zugriffspfade bei der Beschreibung der in einer Datenbank zu speichernden Daten anzugeben.

5.7.2 Raumbezogener Zugriff

In einem Landinformationssystem können viele Entitäten durch Angabe ihrer Lage ausgewählt werden. Am einfachsten für den Benutzer erfolgt dies durch Antippen der Entität in einer graphischen Darstellung auf den Bildschirm. Eine Auswahl von Entitäten über die Lage kann aber auch durch Angabe einer bestimmten Begrenzung erfolgen, z.B. «alle Häuser in der Gemeinde Bünzen».

Die für die raumbezogene Auswahl notwendigen Methoden werden in Teil 6 ausführlich diskutiert

Kapitel 5.7

Zugriffspfade

5.7.1 Notwendigkeit der Vereinbarung von Zugriffspfaden

5.7.2 Raumbezogener Zugriff

5.7.3 Blättern

5.7.4 Zugriff mit vorgegebenen Werten

Die Benutzer benötigen die Daten bestimmter Entitäten; damit sie auf diese zugreifen können, müssen Verfahren zur Auswahl von Entitäten bereitgestellt werden. Die Zugriffspfade müssen in der Datenbank vorbereitet werden. Die vorbereiteten Zugriffspfade beeinflussen die spätere Anwendung; fehlen solche Zugriffspfade, so sind im Extremfall bestimmte Abfragen unmöglich oder zumindest nicht praktikabel.

5.7.3 Blättern

Werden Entitäten gesucht, für die keine Schlüssel vorgegeben sind oder deren Schlüssel unbekannt sind, so können diese durch «Blättern» (englisch «browsing») gesucht werden. Der Benutzer lässt sich in einem möglichst engen Bereich alle gespeicherten Entitäten zeigen und wählt dann die richtige aus.

Die im graphischen Schema eingezeichneten Beziehungen sind geeignet, dies zu unterstützen, indem in einer 1:m(c)-Beziehung immer alle Entitäten (der m-Seite), die mit einer bestimmten Entität der 1-Seite verbunden sind, aufgezählt werden können.

Ist damit eine Entität gefunden, so kann diese wiederum als Ausgangspunkt für ein weiteres Suchen entlang der von ihr ausgehenden Beziehungen benützt werden.

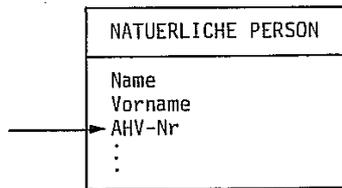
5.7.4 Zugriff mit vorgegebenen Werten

Viele Elemente können durch Angabe ihres Schlüssels (vgl. 5.5.3) ausgewählt werden.

Beispiel:

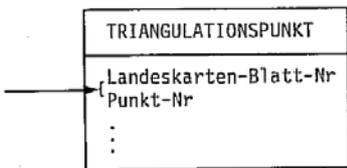
Eine Person ist durch ihre AHV-Nummer bestimmt.

Solche Zugriffspfade stellen wir im graphischen Schema durch einen Pfeil, der auf das Schlüssel-Attribut zeigt, dar.



Figur 5-38a Zugriffspfade

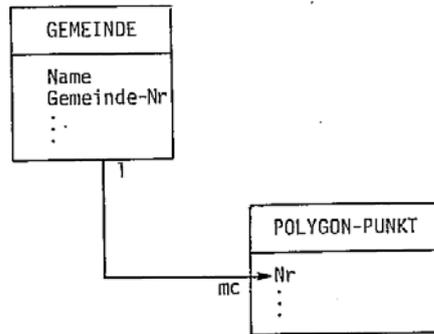
Ist eine Attributkombination notwendig, so werden die entsprechenden Attribute durch eine Klammer zusammengefasst:



Figur 5-38b Zugriffspfad für Attributkombination

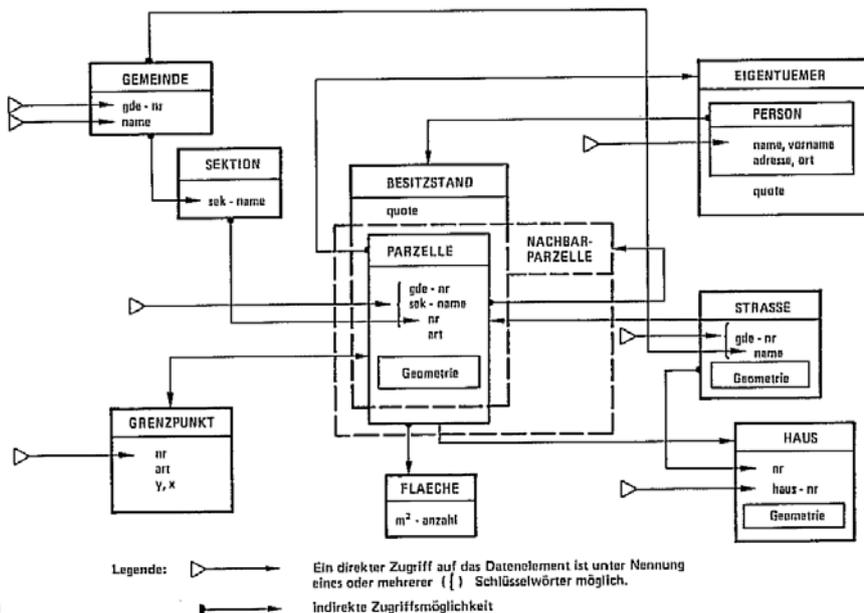
Ist der Schlüssel aber nur innerhalb eines Bereiches

eindeutigem ebenfalls eine Entität entspricht, so müssen wir zum Zugriff zuerst die Entität des Bereiches auswählen. Anschliessend wird die gesuchte Entität entlang der Beziehung zwischen der Entität des Bereiches und der gesuchten Entität ausgewählt. Das wird folgendermassen dargestellt:



Figur 5-39 Zugriffspfad auf Schlüssel, der nur innerhalb eines Bereiches eindeutig ist.

Diese Darstellungsmethode lässt sich nicht nur im konzeptionellen Schema (Figuren 5-32 bis 5-35), sondern auch für das externe Schema anwenden (Figur 5-40). Dort wird für die Entitäten, wie sie sich aus der Sicht des Benutzers ergeben, eingezeichnet, welche Zugriffspfade ihm für Abfragen zur Verfügung stehen. Diese graphische Darstellung ist damit eine gute Hilfe bei der Formulierung der Abfrage in einer Abfragesprache [Frank 82a].



Figur 5-40

Kapitel 5.8

Transaktionen und Konsistenz

5.8.1 Begriff der Transaktion

5.8.2 Anwendung des Transaktionskonzeptes

5.8.3 Längerdauernde, transaktionsähnliche Folgen von Änderungen

Bisher haben wir die Konsistenz einer Datenbank vor allem statisch betrachtet. Hier wird nun untersucht, mit welchen Methoden Veränderungen behandelt werden müssen, damit die Konsistenz der Daten erhalten bleibt.

5.8.1 Begriff zur Transaktion

Nach [Zehnder 81, 5.134] ist eine Transaktion eine Kombination von Operationen, die in ihrer Gesamtheit die Datenbasis bezüglich aller definierten Konsistenzbedingungen von einem ersten in einen zweiten konsistenten Zustand überführt.

Nach Abschluss einer Transaktion ist eine Datenbank, die vorher in einem konsistenten Zustand war, wieder in einem konsistenten Zustand. Wenn also eine Datenbank ursprünglich konsistent war - z. B. kann die leere Datenbank konsistent sein - und alle Änderungen immer abgeschlossene Transaktionen sind, so bleibt die Datenbank insgesamt konsistent. Datenbanksysteme bieten im allgemeinen Hilfsmittel an, die dafür sorgen, dass Transaktionen entweder keine Konsistenzbedingungen verletzen und dann vollständig durchgeführt werden, oder dass sie - wenn sie Konsistenzbedingungen verletzen würden - überhaupt nicht durchgeführt werden, so dass keine Änderungen durch unvollständige Transaktionen in die Datenbank gelangen. Daraus ergeben sich weitere Bedeutungen der Transaktion:

— *Transaktion als Mittel, um die gegenseitige Beeinflussung von gleichzeitigen Benutzern zu kontrollieren.*

Beabsichtigen mehrere Benutzer gleichzeitig Veränderungen an Daten vorzunehmen, so müssen Vorkehrungen getroffen werden, die verhindern, dass sich die Änderungen ungewollt beeinflussen oder eine spätere Änderung ungewollt eine frühere löscht.

Im allgemeinen wird dabei die Transaktion als abgeschlossene Einheit betrachtet: alle Änderungen,

die eine Transaktion bewirken soll, werden erst am Schluss endgültig, d. h. für andere gleichzeitige Benutzer erkennbar, durchgeführt. Dabei wird geprüft, ob diese Änderungen eine andere gleichzeitig laufende Transaktion beeinflussen könnten. Gegebenenfalls muss die eine Transaktion entweder warten, bis die andere abgeschlossen ist, oder aber eine der beiden Transaktionen wird abgebrochen und muss später neu begonnen werden [Kung 81].

Die Verhütung ungewollter Beeinflussungen von Änderungen ist ein schwieriges Problem und ist besonders bei Datenbanken, die über mehrere Computer verteilt sind (sogenannte distributed databases) noch nicht befriedigend gelöst [Lampson 81].

Transaktion als Mittel, um Änderungen versuchsweise durchzuführen.

Bevor eine Transaktion vom Benutzer abgeschlossen ist (commit), sind die vorgenommenen Änderungen noch nicht endgültig. Sie dürfen rückgängig gemacht werden, wobei der Benutzer sicher sein kann, dass kein anderer Benutzer Auswirkungen dieser geplanten Änderungen erfährt.

Transaktion als Einheit der Datensicherung.

Datensicherung hat die Aufgabe, dafür zu sorgen, dass Daten, die einmal korrekt in die Datenbank eingefügt sind, nicht wieder verloren gehen. Auch hier wird die Transaktion als Einheit benutzt: eine abgeschlossene Transaktion darf nicht mehr verloren gehen, Änderungen in noch nicht abgeschlossenen Transaktionen hingegen müssen, z. B. bei plötzlichem Versagen des Computers, nicht wieder hergestellt werden können. Eine ausführliche Darstellung der Methoden zur Datensicherung findet sich in [Reuter 81].

5.8.2 Anwendung des Transaktionskonzeptes

In einem Landinformationssystem ist eine Transaktion eine kurze, leicht abschliessbare Folge von Änderungen der Daten, derart, dass die Daten nachher wiederum in einem konsistenten Zustand sind.

Die im dritten und vierten Teil dieser Arbeit behandelten Operationen können Transaktionen bilden

Beispiele:

Teilen einer Parzelle.

Speichern eines Punktes.

5.8.3 Längerdauernde Folgen von transaktionsähnlichen Änderungen

In einem Landinformationssystem, besonders beim rechtlich genau festgelegten Verändern der Parzellengrenzen, tauchen Folgen von miteinander verknüpften Änderungen auf, die erst mit einer letzten Aktion abgeschlossen werden.

Beispiel:

Teilen einer Parzelle.

Zuerst wird rechtlich unverbindlich eine mögliche Aufteilung studiert. Erst mit der Eintragung im Grundbuch wird die

möglicherweise viel früher vorbereitete Teilung rechtskräftig.

In solchen Fällen kann das einfache Transaktionskonzept nicht angewendet werden. In [Borgida 83] wurde vorgeschlagen, umfassende Bedingungen über den Ablauf solcher Folgen von miteinander verbundenen Änderungen (sogenannte Scripts) aufzustellen. Die Anwendung dieser Idee für Landinformationssysteme sollte eingehend geprüft werden.¹

¹ Eine ausführliche Behandlung dieser Probleme, die in CAD-Datenbanken generell auftreten, findet sich in [Eastman 81].

Sechster Teil

Raumbezug

- Kapitel 6.1 Das Konzept «Raumbezug»
- Kapitel 6.2 Raumbezogene Abfragen und Zugriff
- Kapitel 6.3 Felder-Methode für den raumbezogenen Zugriff
- Kapitel 6.4 Abbildung der Feldereinteilung auf die physische Speicherung
- Kapitel 6.5 Andere bekannte Methoden für raumbezogenen Zugriff

Nachdem die sich aus der Bedeutung der einzelnen Daten ergebenden semantischen oder logischen Datenstrukturen eingehend analysiert sind, wird in diesem Kapitel eine ganz andere Beziehung zwischen den Daten untersucht:

Die Daten in einem Landinformationssystem weisen alle einen Bezug zum Raum auf; daraus ergeben sich Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Daten, die von den vorher analysierten semantischen Beziehungen unabhängig sind. Diese Nachbarschaftsbeziehungen verknüpfen Daten von räumlich nahe beieinanderliegenden Objekten. Sie werden beim raumbezogenen Zugriff ausgenützt, um Daten benachbarter Objekte zu finden.

Der raumbezogene Zugriff wird sowohl für die Darstellung der Daten in Form einer Karte oder eines Planes als auch für die Prüfung bestimmter geometrischer Konsistenzbedingungen benötigt.

In beiden Fällen ist die Wartezeit, d. h. das Zeitintervall, das benötigt wird, um die einen bestimmten Ausschnitt betreffenden Daten herauszusuchen, für die Leistungsfähigkeit eines Landinformationssystems kritisch.

Dafür ist hauptsächlich die Verteilung der Daten im Speichermedium massgebend. Methoden, die erlauben, die charakteristischen Eigenschaften der Massenspeicher auszunützen, werden hier angegeben.

Dieser Teil der Arbeit befasst sich demnach mit Problemen der physischen Speicherung der Daten und unterscheidet sich damit von den vorangehenden Teilen, in denen ausschliesslich logische Beziehungen diskutiert wurden.

Kapitel 6.1

Das Konzept «Raumbezug»

- 6.1.1 Raumbezug der Daten
- 6.1.2 Nachbarschaft
- 6.1.3 Raumbezogene Abfragen

In diesem Kapitel wird der Raumbezug der Daten eines Landinformationssystems untersucht und dessen Bedeutung für Auswertungen hervorgehoben.

6.1.1 Raumbezug der Daten

Nach Definition sind die Daten eines Landinformationssystems raumbezogen; das ist ein wesentliches Merkmal, das zur Abgrenzung gegen andere Datensammlungen dient (vgl. 1.2.4). Raumbezug von Daten bedeutet, dass die Daten die Eigenschaften von räumlich fixierten, unbeweglichen Objekten, deren Lage und Form bekannt sind, beschreiben.

Jedem Datenelement ist also ein bekannter Punkt bzw. eine abgegrenzte Fläche im Raum zugeordnet. Diese Beziehung nennen wir abgekürzt den Raumbezug der Daten.

Im einfachsten Fall bezieht sich eine Angabe auf einen Punkt, der koordinatenmässig bekannt ist; es wird z. B. die Art der Versicherung eines Fixpunktes beschrieben. Eine Angabe kann sich aber auch auf eine Fläche, deren Lage und Form durch Verweise auf koordinatenmässig bekannte Punkte gegeben ist, beziehen. Schliesslich kann das Datenelement mit einem Lokalisator (vgl. Figur 1-3) verknüpft sein, der dann auf ein lagemässig bekanntes Objekt verweist, z.B. sind statistische Angaben mit einer Postadresse verbunden, die auf ein bestimmtes Haus verweist, von dem dann Lage und Geometrie gespeichert sind. In jedem Fall ist aber die Lage und Form des Bezugsobjektes bekannt.

6.1.2 Nachbarschaft

Der Raumbezug drückt die in der Realität bestehende räumliche Nachbarschaftsbezie-

hung aus. Die Nachbarschaft ist für viele Auswertungen wichtig, indem sich eine Abfrage meist auf ein bestimmtes Gebiet und die dort befindlichen Objekte richtet. Entweder wird dieses Gebiet ausdrücklich angegeben, wenn beispielsweise die Menge bestimmter Objekte für ein Gebiet bestimmt werden soll (z. B. Anzahl Einfamilienhäuser in einer Bauzone einer Gemeinde), oder das Gebiet ist durch die zu bearbeitende Aufgabe gegeben. Interessiert sich jemand beispielsweise für eine bestimmte Hausecke, so wird er sich wahrscheinlich bald auch für die unmittelbar benachbarten Hausecken und Parzellengrenzen interessieren. Wesentlich weniger wahrscheinlich hingegen ist, dass sich seine anschließende Frage auf einen Grenzstein in einer anderen Gemeinde richtet. Das Gebiet ist für den Bearbeiter durch seinen Auftrag gegeben, dem System ist es vorerst unbekannt.

Nachbarschaft ist nicht einfach mit einem bestimmten Abstand umschreibbar, sondern hängt von der Grösse und Bedeutung der Objekte ab. Detailpunkte (z. B. Hausecken oder Ecken einer Gartenmauer) sind nur bei der Betrachtung einer engen Umgebung von Interesse, wogegen eine Darstellung der Lage von Spitälern oder von Autobahnanschlüssen eher im Rahmen grösserer Gebiete sinnvoll ist.

Im übrigen reicht eine «absolute» Wichtigkeit eines Objektes, etwa nach seiner Bedeutung, nicht aus, um die Ausdehnung seiner Nachbarschaft zu bestimmen, sondern die *relative* Wichtigkeit eines Objektes in Bezug auf seine Umgebung ist entscheidend: in einem dicht bebauten Stadtquartier ist die Nachbarschaft eines Grenzpunktes flächenmässig kleiner als in einem landwirtschaftlich genutzten Gebiet.

6.1.3 Raumbezogene Abfragen

Raumbezogene Abfragen suchen die Daten aller Objekte innerhalb eines bestimmten *Gebietes* zusammen; daneben können für die Objekte noch bestimmte zusätzliche Bedingungen aufgestellt werden.

Beispiel:

Suche alle Häuser mit mehr als drei Stockwerken in der Gemeinde Bünzen.

Solche Abfragen können von den Benutzern an das Landinformationssystem gerichtet werden, um bestimmte Aufgaben zu lösen, z. B. um Mittelwerte oder Summen bestimmter Grössen für ein Gebiet zu

bilden.

Auf ähnliche Abfragen laufen aber auch alle Wünsche von Benutzern nach Karten- oder Planausschnitten hinaus. Es gilt dann, eine Vielzahl von Objekten innerhalb des angegebenen Ausschnittes herauszusuchen und darzustellen.¹

Schliesslich sind solche Abfragen auch für die Prüfung bestimmter geometrischer Konsistenzbedingungen notwendig. Um Konsistenzbedingungen der geometrischen Primitive zu prüfen, müssen vor dem Speichern einer Kante oder eines Knotens alle andern in der Nähe befindlichen Knoten und Kanten untersucht werden (vgl. 3.7.1 und 3.7.2).

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, dass raumbezogene Abfragen für ein Landinformationssystem ausserordentlich wichtig sind und häufig vorkommen. Für die Leistungsfähigkeit sind sie von grosser Bedeutung. Sie müssen rasch ausgeführt werden, denn Antwortzeiten werden vom Benutzer subjektiv dann als lang empfunden, wenn er die gestellte Aufgabe als leicht beantwortbar empfindet. Das ist bei der Speicherung eines Knotens oder einer Kante bestimmt der Fall, indem dem Benutzer die Komplexität der Konsistenzbedingungen kaum bewusst ist. Es trifft dies aber auch zu, wenn er verlangt, dass ein Karten- oder Planausschnitt graphisch darzustellen sei: Der Benutzer unterschätzt die Schwierigkeit dieser Aufgabe aufgrund seiner Erfahrung mit graphischen Unterlagen.

Ein Landinformationssystem wird von den Benutzern nur geschätzt, wenn die Auskünfte rasch geliefert werden können. Ein interaktives System muss einen einfachen Planausschnitt innerhalb weniger Sekunden auf dem Bildschirm darstellen können.

Kapitel 6.2

Raumbezogene Abfragen und Zugriff

6.2.1 Raumbezogene Abfragen

6.2.2 Vorgehen bei der Bearbeitung einer raumbezogenen Abfrage

6.2.3 Zugriff auf alle Objekte eines Gebietes

6.2.4 Raumbezogener Zugriff

¹ In [Frank 82a] finden sich detaillierte Überlegungen, in welcher Art der Benutzer seine Abfragen formulieren will und wie eine entsprechende Abfragesprache (engl. query language) aussehen kann.

Die in einem Landinformationssystem wichtigen raumbezogenen Abfragen werden in diesem Kapitel analysiert und in einzelne Arbeitsschritte gegliedert.

6.2.1 Raumbezogene Abfragen

Typische Landinformationssystem-Abfragen haben die allgemeine Form¹

Suche *alle* [Entitäts-Typen-Liste]
mit [Bedingungen]
innerhalb [Gebiet].

Die Entitäts-Typen-Liste gibt an, welche Entitäten in der Ergebnis-Menge enthalten sein sollen; die zusätzlichen Bedingungen beschreiben Anforderungen an die einzuschliessenden Entitäten, und das Gebiet gibt an, wo die Objekte, die durch die Entitäten beschrieben werden, liegen müssen. Prinzipiell könnte «innerhalb [Gebiet]» als Teil von «Bedingungen» aufgefasst werden; wegen der besonderen Bedeutung der Auswahl nach Lage wird davon abgesehen und «Bedingungen» auf «nicht-raumbezogene Bedingungen» eingeschränkt.

Einige Beispiele:

*Suche alle Häuser
mit mehr als 3 Stockwerken
innerhalb der Zone A1 der
Gemeinde Bünzen*

*Suche alle Häuser und Strassen
innerhalb der Landwirtschafts-
zone der Gemeinde Bünzen.*

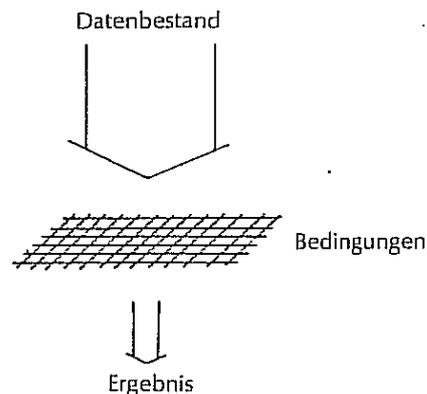
*Suche alle Triangulationspunkte innerhalb
der Gemeinde Bünzen.*

6.2.2 Vorgehen bei der Bearbeitung einer raumbezogenen Abfrage

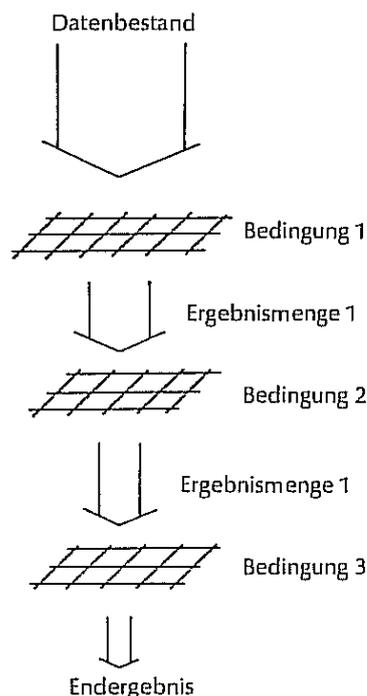
Eine Abfrage an eine Datenbank kann als Filterung aufgefasst werden: die Mengen der zum Ergebnis gehörigen Daten werden aus dem insgesamt vorhandenen Datenbestand herausgesucht (herausgefiltert). Eine einfache Vorstellung über das Vorgehen gibt die Anweisung:

«Untersuche eine Entität nach der andern, ob sie die vorgegebenen Bedingungen erfüllt; wenn ja, füge sie in die Ergebnismenge ein.» Setzt sich eine Abfrage aus mehreren Bedingungen, die alle erfüllt sein müssen, zusammen - Entitätstyp, zusätzliche Bedingungen und Gebiet - so können wir entweder alle Bedingungen für eine Entität unmittelbar

nacheinander prüfen (Figur 6-1), oder aber wir starten zuerst eine Abfrage mit nur einer Bedingung, untersuchen deren Ergebnismenge mit der zweiten Bedingung, was eine neue reduzierte Ergebnismenge ergibt, aus der wir mit der nächsten Bedingung das Endergebnis heraussuchen (Figur 6-2).



Figur 6-1 Herausuchen in einem Schritt



Figur 6-2 Stufenweises Herausuchen

Das stufenweise Verfahren erlaubt dann wesentliche Einsparungen, wenn die erste Bedingung den grössten Teil der Daten ausschliesst und die Ergebnismenge 1 dadurch wesentlich kleiner als der gesamte Datenbestand wird. Die allfällig aufwendigen Tests für die Bedingungen 2 und 3 müssen dann nur noch für diese

¹ Ziel dieser Darstellung ist, die prinzipiellen Probleme von raumbezogenen Abfragen zu erkennen. Die formale Gestaltung einer Abfragesprache wird in [Frank 82a] behandelt.

kleinere Menge von Entitäten durchgeführt werden. Wählen wir zudem für die Verarbeitung immer die gleiche Reihenfolge, so lohnt es sich, die Datenspeicherung auf den ersten Auswahlschritt auszurichten und leistungsfähige Methoden anzuwenden, bei denen nicht jedesmal der gesamte Datenbestand untersucht werden muss.

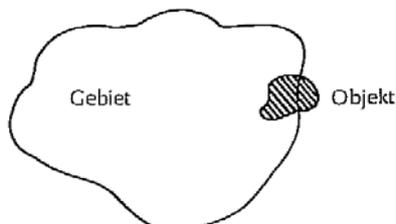
Plausible Annahmen über den Datenbestand in einem Landinformationssystem und über die Grösse der Ergebnismengen von Abfragen sowie über die Selektivität der verschiedenen Auswahlkriterien in einer raumbezogenen Abfrage ergeben folgende optimale Reihenfolge für die Verarbeitung:

1. Gebiet
2. Entitäts-Typen-Liste
3. zusätzliche Bedingungen.

Es soll nun weiter untersucht werden, wie möglichst rasch auf alle Objekte eines Gebietes zugegriffen werden kann. Die beiden anderen Tests (Entitäts-Typen und zusätzliche Bedingungen) bieten keine besonderen, für ein Landinformationssystem spezifischen Schwierigkeiten, und brauchen deshalb hier nicht weiter behandelt zu werden.

6.2.3 Zugriff auf alle Objekte eines Gebietes

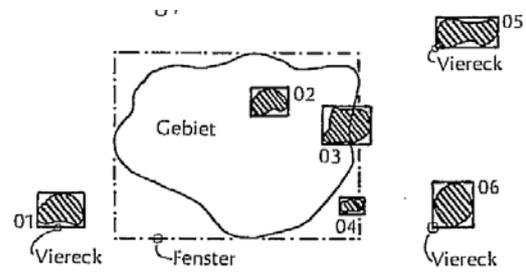
Der Test, ob ein beliebig geformtes Objekt (zumindest teilweise) in einem beliebig geformten Gebiet liegt, ist sehr aufwendig. Da wir annehmen, dass die meisten Daten, die in einem Landinformationssystem gespeichert sind, Objekte betreffen, die ausserhalb des von einer Abfrage berührten Gebietes liegen, erreichen wir wesentliche Einsparungen, wenn wir mit einem einfachen Test alle Entitäten, die sicher *nicht* im Gebiet liegen, ausscheiden. Audi das ist eine Anwendung der stufenweisen Filterung (Figur 6-2). Die Zahl der Objekte, die anschliessend nach einem genauen, und deshalb aufwendigen Verfahren geprüft werden muss, verringert sich dadurch stark.



Figur 6-3 Gebiet und Objekt

Bilden wir sowohl zum gesuchten Gebiet als auch zu jedem Objekt als Hilfsfläche ein Rechteck mit Seiten parallel zu den Koordinatenachsen, so ist der

Test, ob ein Objekt sicher nicht im Gebiet liegt, sehr einfach.

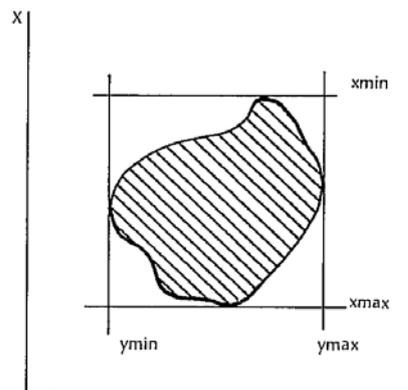


Figur 6-4 Gebiet mit Fenster, Objekte mit zugehörigen Vierecken.

Die Objekte, für die nicht eindeutig ausgeschlossen werden kann, dass sie im untersuchten Gebiet liegen (in Figur 6-4 02, 03, 04), müssen mit einem genauen Testverfahren überprüft werden (nur 02 und 03 [teilweise] liegen im Gebiet).

Im folgenden werden wir das Rechteck um das Gebiet «Fenster» nennen, die Rechtecke, die die Objekte umschliessen, «Vierecke».

Solche Rechtecke mit Seiten parallel zu den Koordinatenachsen sind die einfachste Beschreibung der Ausdehnung und Lage beliebig geformter zweidimensionaler Figuren: Zu jeder zweidimensionalen Figur lässt sich das umschliessende Rechteck angeben und durch vier Koordinatenwerte charakterisieren (Figur 6-5).



Figur 6-5 Viereck um ein Objekt

Wir nennen den einfachen Test, ob ein Viereck mit dem Fenster überlappt, «Grobtest».¹ Über-

¹ Grobtest in Pascal-Notation (see next page)

lappt das Viereck das Fenster nicht, so ist ausgeschlossen, dass das Objekt im Gebiet liegt. Der anschliessende exakte Test untersucht dann genau, welche Objekte wirklich innerhalb des Gebietes liegen. Im allgemeinen Fall eines beliebig geformten Objektes und eines beliebig geformten Gebietes muss untersucht werden, ob zumindest ein Punkt des Objektrandes innerhalb des Gebietes liegt

6.2.4 Raum bezogener Zugriff

Die raumbezogene Abfrage ist damit in vier Teilschritte zerlegt worden.

- Grobtest, ob nicht im Gebiet (mit Viereck) - genauer Test, ob im Gebiet
- Test, ob richtiger Entitätstyp
- zusätzliche Bedingungen

Schätzungen über den Aufwand der einzelnen Tests und die Selektivität lassen die Reihenfolge

1. Grobtest Gebiet raumbezogene
2. Test, ob richtiger Zugriffsmethode
- Entitätstyp
3. Feintest Gebiet
4. zusätzliche Bedingungen

geboten erscheinen.

Die ersten beiden Stufen bilden die *raumbezogene Zugriffsmethode*, die Teil der Zugriffsmethoden eines für Landinformationssysteme geeigneten Datenbanksystems sind.

Am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie wurde das Datenbankverwaltungssystem PANDA entwickelt, das auf dem Netzwerkdatenmodell beruht [Frank 82b]. Darin wurde zusätzlich zu den üblichen find-Befehlen [CODASYL 71] ein raumbezogener Zugriffsbefehl

GIB *entitätstypen* IN *fenster* implementiert

```

FUNCTION GROBTEST (v1, v2: viereck): boolean;
BEGIN
  IF v1.ymax < v2.ymin
  THEN
    GROBTEST: = false
  ELSE
    IF v1.ymin > v2.ymax
    THEN
      GROBTEST: = false
    ELSE
      IF v1.xmax < v2.xmin
      THEN
        GROBTEST: = false
      ELSE
        IF v1.xmin > v2.max
        THEN
          GROBTEST: = false
        ELSE
          GROBTEST: = true
        END;
      END;
    END;
  END;
END;
```

Der GIB-IN-Befehl liefert die Menge aller Entitäten, von denen mit dem erwähnten Grobtest nicht ausgeschlossen werden kann, dass sie im Fenster liegen und deren Typ einem der gesuchten Entitätstypen entspricht. Die Methode des raumbezogenen Zugriffs beschäftigt sich also ausschliesslich mit Fenstern und Objekt-Vierecken und kümmert sich nicht um die exakte Form des Gebietes und der Objekte. Erst diese Vereinfachung erlaubt, einfache allgemeine Methoden auszuarbeiten, die ohne Rücksicht auf die Art der Beschreibung der Geometrie für alle Objekte gleichartig funktionieren. Dies ist ein für den schichtweisen Aufbau von Programmsystemen typisches Vorgehen.

Damit ist die Aufgabe des GIB-IN-Befehles beschrieben. Der Rest dieses Kapitels wird sich nun ausschliesslich mit der Frage der effizienten Implementierung dieses für ein Landinformationssystem ausserordentlich wichtigen Befehles befassen. Nach dem für Software-Engineering wichtigen Geheimnisprinzip (engl. «information hiding») sollte für den Anwendungsprogrammierer die beschriebene Syntax und Semantik des raumbezogenen Zugriffes ausreichend sein; von der im folgenden diskutierten Methode der Implementierung muss er nichts anderes wissen als dass die Antwortzeiten kurz sind.

Der anschliessende Feintest und die Prüfung der zusätzlichen Bedingungen ist Sache des Anwendungsprogrammierers, der die dem jeweiligen Problem angemessenen Methoden wählen kann.

Kapitel 6.3

Felder-Methode für den raumbezogenen Zugriff

6.3.1 Ziel der Methode

6.3.2 Die Methode mit Felder-Einteilung

Um alle Daten von Objekten innerhalb eines durch vier Koordinatenwerte festgelegten Viereckes rasch finden zu können, ist eine spe-

wendig. Charakteristisch ist die Einteilung des Raumes in sich überlappende Felder unterschiedlicher Grösse: die Objekte werden diesen Feldern derart zugeordnet, dass jedes Objekt vollständig innerhalb eines Feldes zu liegen kommt

6.3.1 Ziel der Methode

Der raumbezogene Zugriff erlaubt, aus dem Datenbestand eines Landinformationssystems alle Daten aller Objekte bestimmter Typen, die ganz oder teilweise in einem bestimmten Fenster liegen, herauszusuchen:

GIB *entitätstypen* IN *fenster*.

Einfachste Methode ist das sequentielle Testen jedes einzelnen Objektes. Der Aufwand dieser Methode wächst linear mit der Anzahl der gespeicherten Objekte, ist also für grosse Datensammlungen, wie sie Landinformationssysteme darstellen, nicht geeignet.

Die zu entwickelnde Methode muss den Aufwand für den raumbezogenen Zugriff verkleinern und von der Grösse der Datensammlung unabhängig machen. Erreichbar und akzeptabel scheint eine Methode, deren Aufwand etwa linear von der Anzahl der gefundenen Objekte (also von der Grösse der Ergebnismenge) und nur unwesentlich von der Grösse der Datenmenge abhängt

6.3.2 Die Methode mit Felder-Einteilung

Die für das MINI-LIS entwickelte Methode [Frank 81d], [Frank 11e] lässt sich am einfachsten durch «schrittweise Verfeinerung» erklären: Vom Standpunkt des raumbezogenen Zugriffs präsentiert sich die Datensammlung eines Landinformationssystems als Menge von Daten über räumlich fixierte Objekte verschiedener Typen, deren Raumbezug durch ein Viereck angegeben ist; die exakte Form und Ausdehnung ist hier unerheblich. Die Aufgabe des raumbezogenen Zugriffes besteht darin, alle Objekte bestimmter Typen, die in einem gegebenen Fenster liegen, anhand ihrer Vierecke herauszusuchen.¹

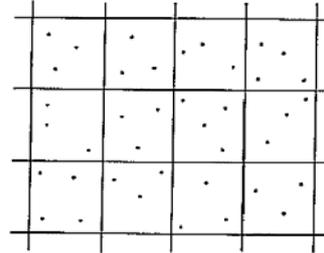
6.3.2.1 Einfachste Methode

Für die Entwicklung des Verfahrens gehen wir von einer einfacheren Aufgabe aus:

- alle Daten betreffen punktförmige Objekte
- die Objekte sind gleichmässig im Raum verteilt
- alle Objekte sind vom gleichen Typ

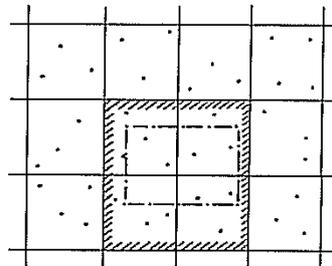
Diese Aufgabe ist leicht lösbar, indem wir den Raum gleichmässig wie ein Schachbrett in *Felder*

einteilen und die Objekte diesen Feldern zuordnen (Figur 6-6).



Figur 6-6 Gleichmässige Feldereinteilung

Sollen alle Objekte, die ein bestimmtes Fenster betreffen, gefunden werden, muss nur untersucht werden, welche Felder das Fenster berührt:



Figur 6-7 Abzusuchende Felder zu einem Fenster

Die diesen Feldern zugeordneten Objekte müssen dann noch dem Grobtest unterworfen werden. Die Objekte, die andern Feldern zugeordnet sind, brauchen überhaupt nicht untersucht zu werden (Figur 6-7).

Dieses Verfahren erfüllt unsere Ansprache in bezug auf den Aufwand. Es ist nicht nötig, alle gespeicherten Objekte zu untersuchen, sondern die Untersuchung kann dank der Felder auf eine begrenzte Zahl von Objekten beschränkt werden.

Der Aufwand ist von der Anzahl der zu untersuchenden Objekte abhängig. Weil wir gleichmässige Verteilung der Objekte im Raum angenommen haben, fallen auf jedes Feld gleichviele Objekte. Die Anzahl der zu untersuchenden Objekte ist damit von der Anzahl der ins Fenster fallenden Felder und somit von der Grösse dieses Fensters abhängig. Bei gleichmässiger Verteilung der Objekte im Raum nimmt aber auch die Zahl der ins Fenster fallenden Objekte, d. h. die Anzahl der gefundenen Objekte mit der Grösse des Fensters zu.

Insgesamt bringt dieses Verfahren also einen Aufwand, der mit der Zahl der gefundenen Objekte wächst und von der Grösse der Datenbank (praktisch) unabhängig ist.

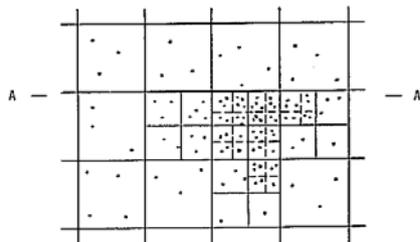
¹ Genau: von denen mit dem Grobtest (vgl. 6.2.3) nicht ausgeschlossen werden kann, dass sie ins Fenster fallen. Die gefundene Menge enthält also einige Objekte zu viel.

6.3.2.2 1. Verfeinerung: ungleichmässige Verteilung der Objekte

Sind die Objekte ungleichmässig im Raum verteilt, so ergibt sich bei der einfachen Methode, dass einigen Feldern sehr viele Objekte, anderen aber sehr wenige Objekte zugeordnet sind. Das wirkt sich ungünstig auf den Aufwand für den raumbezogenen Zugriff aus.

In einem Landinformationssystem können die Objekte sehr verschieden über den Raum verteilt sein: die Anzahl der pro Flächeneinheit zu speichernden Daten variiert zwischen einer Innenstadt und einem Waldgebiet in den Alpen schätzungsweise im Verhältnis 1000:1.

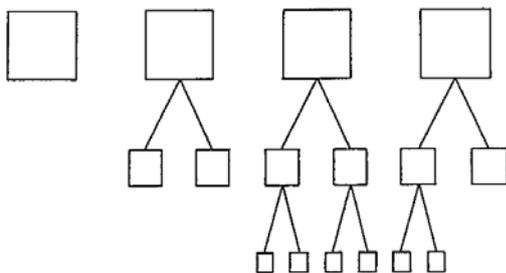
Damit die Felder jeweils ungefähr gleichviele Objekte aufweisen, müssen wir ihre Grösse anpassen können, am einfachsten, indem die Felder, die viele Objekte enthielten, aufgeteilt werden:



Figur 6-8 Felder unterschiedlicher Grösse

Das Aufteilen erfolgt am einfachsten durch fortgesetztes Vierteilen der Felder; aber auch andere Verfahren wären anwendbar.

Die Felder werden untereinander zu einem Baum verbunden (in Figur 6-9 ist nur die Y-Dimension, im Schnitt A—A der Figur 6-8, gezeichnet).

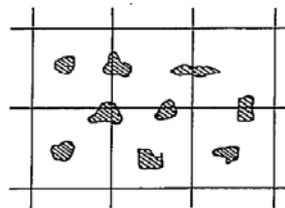


Figur 6-9 Felder unterschiedlicher Grösse

Beim Zugriff werden nur die Objekte der Felder und Teilfelder, die das Fenster berühren, untersucht.

6.3.2.3 2. Verfeinerung: räumlich ausgedehnte Objekte

Das entwickelte Verfahren eignet sich bisher nur für punktförmige Objekte.¹ In einem Landinformationssystem müssen aber auch Daten über räumlich ausgedehnte Objekte (Parzellen, Häuser usw.) gesammelt werden können. Die Daten räumlich ausgedehnter Objekte können aber nicht mehr einfach den Feldern zugeordnet werden (Figur 6-10).



Figur 6-10 Feldeinteilung und Objekte, die die Feldergrenzen schneiden

Zwei Verfahren bieten sich an:

- Aufteilen der Objekte
- Überlappende Feldeinteilung

Aufteilen der Objekte

Objekte können an den Feldergrenzen aufgeteilt werden, so dass die Teile jeweils ganz in ein Feld passen. Nach dem Zugriff werden die Objekt-Teile wieder zusammengesetzt. Dieses Verfahren wird bei einigen Systemen für das interaktive Nachführen von Karten, die heute auf dem Markt sind, angewendet [Wild 80].

Das Aufteilen der Objekte bringt gewichtige Nachteile mit sich:

— Das Zusammensetzen der Objekt-Teile ist eine komplexe Operation, bei der die zusätzlich eingefügten Knoten und Kanten erkannt und entfernt werden müssen.

— Die saubere Aufteilung der Programme in Schichten, die bestimmten Abstraktionsebenen entsprechen (vgl. 1.4.4), ist nicht mehr möglich: die Methode des raumbezogenen Zugriffs kann sich nicht mehr darauf beschränken, beliebige Objekte, deren Lage durch ein Viereck gekennzeichnet ist, zu behandeln. Sie muss allenfalls Objekte an den Feldgrenzen aufteilen und wieder zusammensetzen, dazu Kenntnisse über die interne Struktur der Daten der Objekte nötig sind. Damit werden aber die verschiedenen

¹ In [Burton 78.] wird eine Möglichkeit gezeigt, wie dieses Verfahren zumindest für kleine, wenig ausgedehnte Objekte verwendet werden kann.

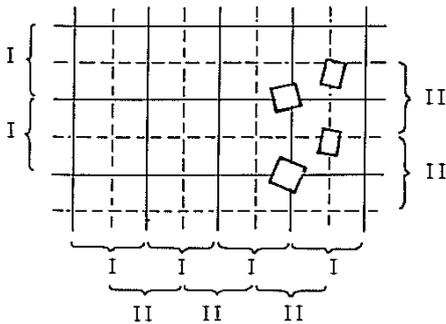
Schichten voneinander abhängig; Änderungen in einer Schicht bedingen auch Änderungen in einer andern Schicht. Eine allgemeine, von der spezifischen Datenstruktur verschiedener Objekte unabhängige raumbezogene Zugriffsroutine (vgl. 6.2.4) lässt sich nicht mehr anbieten. Daneben müssen aber auch die Konsistenzbedingungen umformuliert werden, so dass sie auch auf geteilte Objekte anwendbar werden.

Diese Gründe haben dazu geführt, diese konventionelle Lösung zu verwerfen.

Überlappende Feldereinteilung

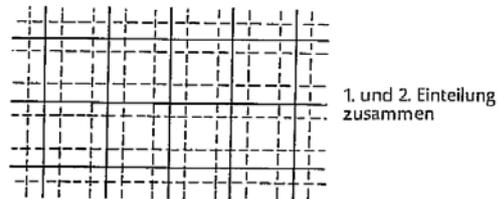
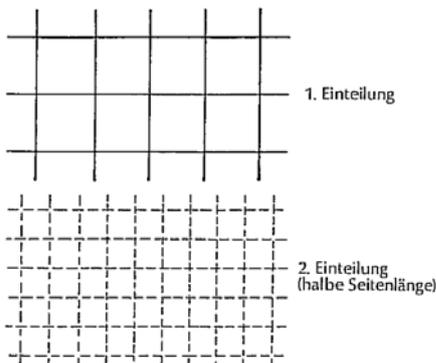
In der bisherigen, einfachen Feldereinteilung finden alle jene Objekte keinen Platz, die die Feldgrenzen schneiden.

Führen wir aber in Figur 6-11 zwei Feldeinteilungen I und II ein, wobei II in jeder Richtung gegenüber I um die halbe Feldbreite verschoben ist, so können Objekte, die in der einen Einteilung nicht Platz finden, in der andern untergebracht werden.



Figur 6-11 Zwei überlappende Feldeinteilungen

Dieses Prinzip führt verfeinert zu einer Hierarchie symmetrisch überlappender Einteilungen von Feldern mit jeweils halbierten Seitenlängen (Figur 6-12):



Figur 6-12 Symmetrisch überlappende Feldereinteilung

Die weitere Unterteilung erfolgt in gleicher Weise, bis eine genügende Feinheit der Feldereinteilung erreicht ist.

Für diese Einteilung lässt sich beweisen, dass jedes Viereck ungeteilt in einem Feld Platz findet, dessen Seitenlänge höchstens 16mal grösser ist, als die grössere Seitenlänge des Viereckes.

Wählen wir für die erste Einteilung eine Seitenlänge von 800 km - damit die ganze Schweiz darin gut Platz findet - so ergibt sich bei fortlaufender Halbierung der Seitenlänge für die Felder der 18. Unterteilung nur noch 3m Seitenlänge.

Diese symmetrische, überlappende Feldereinteilung übernimmt gleichzeitig die in der ersten Verfeinerung erklärte Anpassung an die unterschiedliche Verteilung der Objekte im Raum:

Sind an einer Stelle im Raum nur wenige Objekte zu speichern, so werden nur die Felder mit grosser Seitenlänge gebildet. Sind hingegen viele Objekte zu speichern, so werden auch die Felder mit kleinerer Seitenlänge eröffnet und die Objekte, deren Vierecke auch in die kleineren Felder passen, werden diesen zugeordnet. Eine solche Anpassung wird dynamisch durch eine zu grosse Zahl von Objekten, die einem Feld zugeordnet wird, ausgelöst und führt zu einer lokalen Reorganisation. Es ist nicht erforderlich, a priori festzulegen, an welchen Orten welche Dichten erwartet werden: das Verfahren regelt die Feinheit des Aufteilens selber.

6.3.2.4 Letzte Verfeinerung: verschiedene Objekte unterschiedlicher Wichtigkeit

Das beschriebene Verfahren tendiert dazu, Objekte mit grosser räumlicher Ausdehnung grossen Feldern und kleine Objekte kleinen Feldern zuzuordnen.

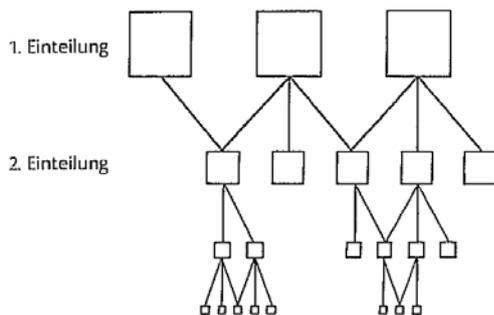
Dieses wirkt sich weiter positiv aus: Abfragen von Benutzern, die ein grosses Gebiet betreffen (grosse Fenster), sind eher auf grosse, wichtige Objekte mit einer grossen Nachbarschaft (vgl.

6.1.2) gerichtet; will man hingegen Details, so ist fast automatisch das untersuchte Gebiet kleiner.

Am offensichtlichsten ist dies bei Abfragen, die eine graphische Antwort als Karte oder Plan auf dem Bildschirm verlangen: die Anzahl der auf einem Bildschirm darstellbaren Objekte ist wegen der Auflösung beschränkt (vielleicht 2000 Objekte). Der Benutzer wird also seine Auswahl entsprechend einrichten: entweder wichtige grosse Objekte über ein grosses Gebiet (die Nationalstrassen der Schweiz) oder viele Details über ein kleines Gebiet (die Entwässerung der Nationalstrasse N1 zwischen Kilometer 37 und 38). Verlangt er die Darstellung aller Details über ein grosses Gebiet, so wird er aus der Fülle der präsentierten Daten kaum Information gewinnen: die einzelnen Objekte überlappen sich so sehr, dass Einzelheiten nicht erkennbar sind.

Die soeben besprochene Eigenschaft können wir ausnützen, indem wir für die einzelnen Entitätstypen festlegen, welchem Bereich der Feldereinteilung (Angabe der Seitenlängen) sie zugeordnet werden dürfen. Diese Festlegung muss natürlich in Übereinstimmung mit der erwarteten räumlichen Ausdehnung der Objekte sein. So legen wir etwa fest, dass Triangulationspunkte erster Ordnung als wichtige Objekte grossen Feldern zugeordnet werden müssen.

Betrachten wir nun die verschiedenen Felder an einer Stelle des Raumes (Figur 6-13 analog zur Figur 6-9):



Figur 6-13 Felder der verschiedenen Einteilungen

Soll auf alle Triangulationspunkte in einem grossen Gebiet zugegriffen werden, so weiss der Algorithmus, dass nur die obersten beiden Einteilungen der Feldereinteilung untersucht werden müssen.

Feldern mit kleinerer Seitenlänge als die zweite

Einteilung können keine Triangulationspunkte zugeordnet sein. Werden hingegen für ein kleineres Gebiet die Polygonpunkte gesucht, so muss der Baum bis weiter hinunter abgesucht werden. Im Ergebnis fällt aber für beide Abfragen etwa die gleiche Arbeit an: einmal breit, aber nicht tief, das andere mal schmal, aber tief.

In gleicher Art kann für einen bestimmten Entitätstyp die Grösse der Felder auch nach oben beschränkt werden.

Kapitel 6.4

Abbildung der Feldereinteilung auf die physische Speicherung

6.4.1 Charakteristika der Speichergeräte

6.4.2 Speichermethoden

6.4.3 Verbindung der Methode des räumlichen Zugriffs mit einem Datenbanksystem

In diesem Kapitel wird beschrieben, wie die Feldereinteilung implementiert werden kann, so dass minimale Verarbeitungszeiten entstehen; dafür muss auf Besonderheiten der Hardware, die aber den meisten heute verwendeten Computern eigen sind, Rücksicht genommen werden.

6.4.1 Charakteristika der Speichergeräte

Die Datenmenge eines Landinformationssystems ist sicher zu gross, als dass sie vollständig im Hauptspeicher Platz fände. Die Daten müssen in billigeren Speichermedien, sogenannten Massenspeichern, die direkten Zugriff (englisch: random access) erlauben, aufbewahrt werden. Von diesen Massenspeichern werden sie zur Verarbeitung in den Hauptspeicher transferiert und nachher entsprechend verändert wieder zurückgeschrieben.

Heutige Speichergeräte für direkten Zugriff (Plattenspeicher oder Disk, allenfalls auch floppy disk) speichern Daten durch magnetische Aufzeichnung (vergleichbar mit einem Tonbandgerät) auf rotierende Platten. Beim Lesen oder Schreiben werden Lese- und Schreibköpfe mechanisch zur entsprechenden Spur bewegt und die Daten, wenn sie am Kopf vorbeikommen, gelesen oder geschrieben.

Typisch für diese Technik ist, dass verhältnismässig viel Zeit verstreicht, bis die Köpfe die gewünschte Spur erreicht haben und die Daten zu den Köpfen gekommen sind, dass nachher aber grössere Datenmengen sehr rasch gelesen oder geschrieben werden können.

Der Zugriff zum kleinsten Datenelement (1 Byte) benötigt etwa 30 ms¹, wogegen der Zugriff auf einen grossen Datenblock (z. B. 1000 Bytes) nur unwesentlich länger, nämlich 31 ms, in Anspruch nimmt.

Dementsprechend bemüht man sich, nicht einzelne Datenelemente, sondern grössere zusammenhängende Blöcke (Seiten genannte vom Massenspeicher zu lesen und erst nachher im Hauptspeicher die einzelnen Elemente zu untersuchen. Die meisten modernen Geräte erlauben den Zugriff überhaupt nur noch in dieser Weise.

Obgleich die technische Entwicklung der Hardware ausserordentlich rasch voranschreitet, muss damit gerechnet werden, dass auch neuere Massenspeicher ähnliche Eigenschaften aufweisen werden. Die hier angestellten Überlegungen zur Beschleunigung der Antwortzeit dürften also längerfristig gültig sein.

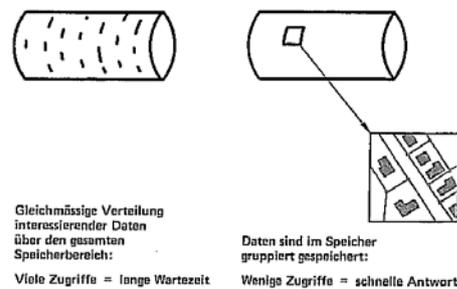
Im übrigen ist der Zeitaufwand für den Zugriff auf den Massenspeicher, so kurz er auch dem Laien erscheinen mag, im Verhältnis zur Arbeitsgeschwindigkeit im Hauptspeicher sehr lang (Verhältnis der Zugriffszeiten etwa 1:10000 - 1:100000). Vereinfachend gilt, dass die Antwortzeit in Datenbanksystemen ausschliesslich von den Zugriffszeiten auf den Massenspeicher bestimmt wird. Weil die Zeit pro Zugriff nahezu unveränderlich ist, müssen wir uns bemühen, die Zahl der Zugriffe zu verkleinern.

6.4.2 Speichermethoden

Da immer ganze grössere Datenblöcke (Seiten) vom Massenspeicher eingelesen werden, können wir beim räumlichen Zugriff viel Zeit sparen, wenn wir dafür sorgen, dass eine eingelesene Seite möglichst viele der Objekte, die gesucht werden, enthält.

Beim Zugriff auf raumbezogene Daten wird eine Menge von Daten, die räumlich benachbarte Objekte betreffen, herausgesucht. Wenn es gelingt, die Nachbarschaft in der Realität auf eine

Nachbarschaft im Speicherraum abzubilden (Figur 6-14), so können wir erwarten, dass auf jeder Seite, die wir aus dem Massenspeicher einlesen, eine grössere Zahl der gesuchten Objekte enthalten ist. Die Anzahl Zugriffe auf den Massenspeicher und damit die Antwortzeit verringert sich um einen Faktor, der der Zahl der gleichzeitig auf einer Seite gespeicherten Objektdaten entspricht. Versuche haben gezeigt, dass auf einer Seite die Daten 10 .. 50 benachbarter Objekte Platz haben. Eine bestimmte Abfrage, die zuvor 3 Minuten Wartezeit erforderte, lässt sich nun in 2%..10% der Zeit, d. h. 4.. 20 Sekunden, beantworten.

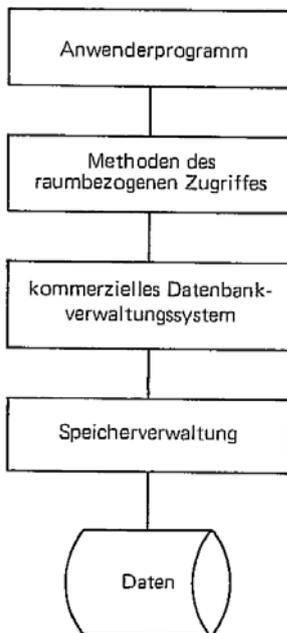


Figur 6-14 Erhaltung der Nachbarschaft bei der Speicherung

Die in 6.3 beschriebene Methode der Feldereinteilung eignet sich beim Einsatz von Massenspeichern vorzüglich. Wir ordnen jedem Feld eine Speicher-Seite zu und speichern die Daten aller Objekte, die in dieses Feld fallen, auf einer diesem Feld entsprechenden Seite. Die Daten der Objekte eines Feldes können so für den «Grobtest» en bloc in den Hauptspeicher übertragen werden.

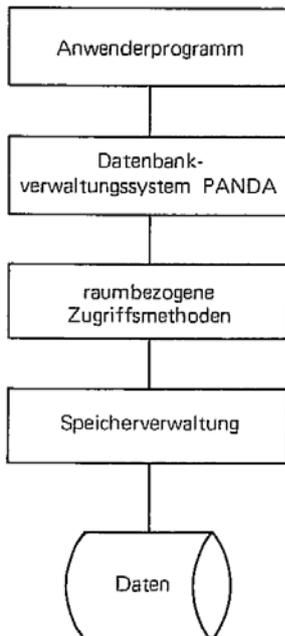
6.4.3 Verbindung der Methode des räumlichen Zugriffs mit einem Datenbanksystem

Die hier beschriebenen Methoden wurden ursprünglich mit Hilfe eines kommerziell erhältlichen Datenbankverwaltungssystems [DEC 77a], [DEC 77b] erarbeitet, und zwar wurden die entsprechenden Programme zwischen Anwenderprogramm und Datenbank eingeschoben (Figur 6-15):



Figur 6-15 Programme für raumbezogenen Zugriff auf ein kommerzielles Datenbanksverwaltungssystem aufgesetzt

Ausführliche Tests mit realen Daten (Grundbuchpläne Basel-Stadt) ergaben akzeptable Ergebnisse, die ein interaktives Abfragen durchaus erlauben (20..40 Sekunden für einen bildschirmfüllenden Planausschnitt).



Figur 6-16 Programme für raumbezogenen Zugriff, näher bei der Speicherverwaltung

Inzwischen wurde das neue PANDA¹-Datenbanksystem erstellt [Frank 82b], das auf die Ansprüche eines Landinformationssystems ausgerichtet ist. Insbesondere werden darin die Routinen für den raumbezogenen Zugriff zwischen das eigentliche Datenbanksystem und die Speicherverwaltung eingefügt (Figur 6-16), was zu einer Beschleunigung des raumbezogenen Zugriffes führt.

Kapitel 6.5

Andere bekannte Methoden für raumbezogenen Zugriff

6.5.1 Quad Trees

6.5.2 Methoden mit seitenweiser Zusammenfassung von Daten

In der Literatur wurden schon verschiedentlich Zugriffsmethoden für ähnliche Aufgaben vorgeschlagen. Keine der bekannten Methoden scheint aber für die Anwendung in Landinformationssystemen geeignet. Im folgenden soll kurz auf typische Verfahren hingewiesen und ihre Nachteile für diese Anwendung erwähnt werden.

6.5.1 Quad Trees

Quad Trees [Denert 77] sind eine Erweiterung der Methode der binären Bäume auf zwei Dimensionen. Das Verfahren erlaubt den raschen Zugriff auf Daten, die Punkten in einem zweidimensionalen Raum zugeordnet sind. Hingegen ist es nicht möglich, Daten ausgedehnter Objekte zu behandeln oder beim Suchen aller Objekte in einem Fenster von den Eigenschaften der Massenspeicher zu profitieren.

6.5.2 Methoden mit seitenweiser Zusammenfassung von Daten

Methoden, die rasch auf Daten zugreifen wollen, die in einem Massenspeicher aufbewahrt werden, müssen auf die in 6.4 erläuterten Eigenschaften der Speichermedien Rücksicht

¹ PANDA steht für PAscal Netzwerk DATenbanksystem und soll darauf hinweisen, dass es speziell für die Anwendung in Pascal-Anwenderprogrammen erstellt wurde, aber selbst auch vollständig in Pascal geschrieben wurde. Grundlage bildet, wie für die CODASYL-Datenbanksysteme, das Netzwerk-Datenmodell

nehmen. In [Fagin 79] werden verschiedene solche Verfahren diskutiert: generell werden eine Anzahl zusammengehöriger Daten auf eine Seite des Massenspeichers abgelegt und in einem zusätzlichen Verzeichnis wird festgehalten, welche Daten wo zu suchen sind.

Dieses Verfahren kann auch für Daten, die Punkten in einem mehrdimensionalen Raum zugeordnet sind, verwendet werden. In [Nievergelt 81] und in [Tamminen 81b] werden solche Anwendungen untersucht.

Schwierigkeiten bereitet dagegen die Verarbeitung von Daten räumlich ausgedehnter Objekte. Entweder werden diese mit den in 6.3.2.3 erwähnten Nachteilen aufgeteilt oder es werden nur Verweise auf die Objekte gespeichert und deren

Daten massen nachher - mit zusätzlichen Zugriffen - anderswo gesucht werden. Nievergelt hat kürzlich vorgeschlagen, die vier Koordinaten, die die Vierecke um räumlich ausgedehnte Objekte festlegen, als Punkte im vierdimensionalen Raum aufzufassen.

Wird diese Idee auf Landinformationsdaten, die grössere Gebiete mit sehr unterschiedlicher Dichte der Daten (vgl. 6.3.2.2) umfassen, angewendet, so werden die zusätzlichen Verzeichnisse zum Aufsuchen der Seite mit den gewünschten Daten sehr gross. Das beansprucht einerseits mehr Massenspeicher, verlängert andererseits aber auch die Zugriffszeiten beim Suchen nach allen Objekten in einem bestimmten Fenster.

Siebenter Teil

Gesamtkonzept und Erfahrung

Kapitel 7.1 Zusammenfassung «Geometrische Datenstrukturen»

Kapitel 7.2 Vergleich mit anderen Verfahren zur Strukturierung geometrischer Daten

Kapitel 7.3 Datenbeschreibung mit dem erweiterten Entitäten-Block-Diagramm

Kapitel 7.4 MINI-LIS als Beispiel einer Anwendung

Kapitel 7.5 Rückblick

In diesem letzten Teil werden die wichtigsten Elemente der vorgeschlagenen Datenstruktur und der Methode, die dazu führte, im Zusammenhang nochmals formuliert und mit andern bekannten Verfahren verglichen.

Schliesslich wird auch noch kurz über die Erfahrungen bei der Implementierung der in dieser Arbeit präsentierten Ideen im Rahmen des Landinformationssystem-Prototyps MINI-LIS berichtet.

Kapitel 7.1

Zusammenfassung «Geometrische Datenstrukturen»

7.1.1 Geometrische Primitive

7.1.2 Geometrische Grundstrukturen

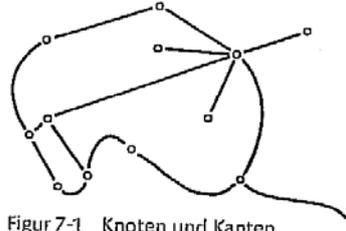
7.1.3 Raumbezogene Zugriffsmethoden

Bei der Untersuchung der geometrischen Datenstrukturen wurden zwei verschiedene Aspekte erkannt: Einerseits müssen geometrische Sachverhalte eindeutig beschrieben werden, wozu die geometrischen Primitive und die geometrischen Grundstrukturen dienen, andererseits muss für den schnellen Zugriff die räumliche *Nachbarschaft* ausgenützt werden.

7.1.1 Geometrische Primitive

Geometrische Primitive bilden die Grundlage für

die Darstellung geometrischer Sachverhalte. Knoten sind die ausgezeichneten Punkte, in denen *Kanten* beginnen oder enden. Kanten können Geradenstücke, Stücke von Kreisbogen oder beliebig geformte Linien sein.



Figur 7-1 Knoten und Kanten

Die *Knoten* tragen die metrische Information, indem ihre Lage im Koordinatensystem numerisch angegeben wird.

Die topologischen Beziehungen zwischen Knoten und Kanten, d.h. die Tatsache, dass eine Kante in einem bestimmten Knoten beginnt oder endet, wird ausdrücklich festgehalten.

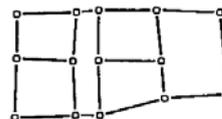
Für die Knoten und Kanten müssen wir *Eindeutigkeit* fordern: Ein Knoten oder eine Kante darf nur einmal gespeichert werden. Hat ein Knoten oder eine Kante mehrere Bedeutungen, z. B. Parzellengrenze und Hauskante, so wird die Kante nur einmal gespeichert, hingegen werden die unterschiedlichen Bedeutungen notiert

Die Topologie muss *vollständig* erfasst sein: Alle bekannten Beziehungen sind gespeichert; von Beziehungen, die nicht gespeichert sind, wird angenommen, dass sie nicht existieren.

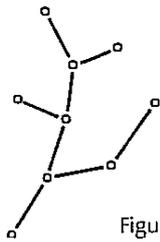
7.1.2 Geometrische Grundstrukturen

Die geometrischen Primitive können beliebig zusammengesetzt werden, um komplexere geometrische Sachverhalte zu beschreiben. Geometrische Beschreibungen realer Sachverhalte weisen hingegen bestimmte Regelmässigkeiten auf.

Die Struktur der Parzelleneinteilung (Figur 7-2) und diejenige des Gewässernetzes (Figur 7-3)



Figur 7-2 Partition



Figur 7-3 Netz

unterscheiden sich deutlich. Abstrakt lässt sich dieser Unterschied in Form von unterschiedlichen Konsistenzbedingungen beschreiben. Als wichtige Konsistenzbedingungen für ein Landinformationssystem wurden herausgegriffen:

Zusammenhängen:

- alle Kanten müssen zusammenhängen
- die Kanten können nichtzusammenhängend sein

Schneiden der Kanten:

- Kanten dürfen sich nicht schneiden
- Kanten können sich schneiden

Kreise:

- Kanten dürfen keine Kreise bilden
- Kanten können Kreise bilden
- jede Kante muss Teil eines Kreises sein.

Mit diesen Merkmalen lassen sich die 12 verschiedenen geometrischen Grundstrukturen bilden (Figur 4-11).

Am wichtigsten für die Anwendung sind folgende geometrische Grundstrukturen:

- die Partition (Figur 7-2, z. B. als Parzelleneinteilung), mit folgenden Kennzeichen:
 - die Kanten können nichtzusammenhängend sein
 - Kanten dürfen sich nicht schneiden
 - alle Kanten sind Teile von Kreisen
- das Netz (Figur 7-3, z. B. als Leitungsnetz), charakterisiert durch Kanten, die Kreise bilden können.

7.1.3 Raumbezogene Zugriffsmethoden

In einem Landinformationssystem ist der Zugriff auf Daten von räumlich benachbarten Objekten sehr wichtig, sei es für die Überprüfung von geometrischen Konsistenzbedingungen, sei es für die graphische Darstellung.

Um diese Zugriffe rasch durchführen zu können, müssen die Eigenschaften der Massenspeicher berücksichtigt werden. Daten werden seitenweise geschrieben und gelesen, wobei die benötigte Zeit pro Zugriff praktisch konstant und wenig abhängig von der Datenmenge pro Seite ist.

Gelingt es, auf einer (auf einmal vom Massenspeicher eingelesenen) Seite die Daten mehrerer räumlich benachbarter Objekte zu speichern, so verkürzen sich die Antwortzeiten für raumbezogene Abfragen wesentlich.

Teilen wir den räumlich-geographischen Koordinatenraum schachbrettartig in sich gegenseitig überlappende Felder verschiedener Grösse ein, speichern die diesen Feldern zugeordneten Objekte auf je einer Seite des Massenspeichers, so sind die Daten physisch für den raumbezogenen Zugriff optimal verteilt. Die unterschiedlichen Grössen der sich überlappenden Felder ermöglichen, die Objekte zuzuordnen, ohne dass diese an den Feldgrenzen zerschnitten werden müssen; sie können sich auch der ungleichmässigen Verteilung der Objekte im Raum anpassen.

Die angeführten Methoden ergeben für den raumbezogenen Zugriff Zugriffszeiten, die zwar von der Grösse des interessierenden Fensters und der Anzahl der gefundenen Objekte abhängig sind, von der Grösse der gespeicherten Datenmenge aber praktisch unbeeinflusst bleiben.

Diese Speicherungsmethode ermöglicht auch, die «räumliche Nachbarschaft» für geometrische Algorithmen auszunützen. Für viele Aufgaben lassen sich Algorithmen finden, die lokal arbeiten, d. h. gleichzeitig immer nur Daten benötigen, die eng benachbarte und auf wenigen Seiten gespeicherte Objekte betreffen [Dutton 78a].

Kapitel 7.2

Vergleich mit andern Verfahren zur Strukturierung geometrischer Daten

7.2.1 Trennung von Konzept und Implementierung

7.2.2 Vergleich mit andern Vorschlägen

7.2.3 Berücksichtigung semantischer Beziehungen zwischen den Objekten

Wird das in dieser Arbeit vorgestellte Verfahren zur Erfassung der geometrischen Sachverhalte in einem Landinformationssystem mit andern aus der Literatur bekannten Verfahren verglichen, so fällt die starke Betonung der Konsistenzregeln und die scharfe Trennung zwischen semantisch-topologischen Beziehungen einerseits und räumlicher Nachbarschaft andererseits auf. Es wird im Sinne der drei Schemata von

[ANSI/X3/SPARC] versucht, die grundsätzlichen logischen Aspekte von den Fragen der Implementierung zu trennen.

7.2.1 Trennung von Konzept und Implementierung

Verschiedene Vorschläge zur Behandlung geometrischer Sachverhalte trennen nicht klar zwischen grundsätzlichen Aspekten und speziellen Festlegungen einer bestimmten Implementierung. Bei mehreren der in [Dutton 78] beschriebenen Verfahren ist es nicht einfach, die Konzepte von den Details der Implementierung (wie Rücksicht auf Wortlänge, Organisation des Massenspeichers usw.) zu trennen. Verbreitet ist diese Vermischung auch im Bereich «Computer-Graphik», wo geometrische Sachverhalte als Sammlung graphischer Elemente in «linear display lists» behandelt werden. Solche Verfahren sind zur Implementierung schneller graphischer Algorithmen nützlich, verdecken aber den Zusammenhang zwischen den graphischen Elementen und lassen die Formulierung von geometrischen Konsistenzbedingungen kaum zu. Sie sind deshalb als Modelle zur Manipulation von geometrischen Daten, die *längerfristig* konsistent erhalten werden müssen, ungeeignet.

Die hier vorgestellten Verfahren trennen deutlich zwischen den logischen Konzepten, wie sie im 3. und 4. Teil erläutert wurden, und die ohne weiteres auf verschiedenen Computersystemen implementiert werden können, und den nicht besprochenen technischen Vorschriften, die von den speziellen Eigenschaften des benutzten Computersystems abhängig sind.

7.2.2 Vergleich mit andern Vorschlägen

Im Unterschied zu publizierten Vorschlägen zur Strukturierung und Manipulation geometrischer Daten wird im 3. und 4. Teil dieser Arbeit konsequent versucht, allgemeine geometrische Konsistenzbedingungen, die für verschiedene Figuren anwendbar sind, aufzustellen.

Geometrische Konsistenzbedingungen wurden in [Corbett 73] und [Cranford 78] für die «dual independent map encoding» (DIME) Dateien aufgestellt. Dieses Verfahren wird heute in den USA, der Bundesrepublik Deutschland [Klitzing 79], Frankreich [Sabetier 78] und in Skandinavien [Salomonsson 78] für die Verarbeitung raumbezogener statistischer Daten an verschiedenen Orten angewandt.

Dabei müssen die durch Strassenstücke begrenzten Häuserblocks erfasst werden, da verschiedene statistische Angaben mit Bezug auf diese Blocks erhoben und ausgewertet werden. Es werden für jedes Strassenstück (in unserer Terminologie «Kante») Anfangs- und Endknoten sowie linker und rechter Block (in unserer Terminologie «Teilfläche») eingegeben. Danach wird geprüft, ob der so definierte Graph eine Partition bildet. In gewissem Sinne kann das in Teil 3 und 4 dieser Arbeit vorgeschlagene Verfahren als Verallgemeinerung der DIME-Methoden auf Kanten und Knoten mit mehreren Bedeutungen und auf zusätzliche geometrische Grundstrukturen verstanden werden. Gemeinsam ist die starke Betonung der geometrischen Konsistenzbedingungen, die sicher wesentlich zum Erfolg von DIME beigetragen hat.

Einfachere Systeme, wie sie besonders für die Nachführung von Leitungskatastern erstellt werden und heute kommerziell angeboten werden, können nur Punkte und Linien verarbeiten und sollten nicht für Aufgaben, bei denen Flächen (wie z. B. Parzellen) wichtig sind, eingesetzt werden.

Andere einfache Systeme für geographische Aufgaben bieten nur Flächen als Elemente an. Dies scheint hervorragend geeignet zur Darstellung statistischer Ergebnisse von Bezugsflächen (z. B. Gemeinden); Schwierigkeiten entstehen aber, sobald die Flächendefinitionen selber geändert werden müssen.

In beiden Fällen fehlt es an Möglichkeiten, Konsistenzregeln durchzusetzen, die sich gleichzeitig auf verschiedene geometrische Datenelemente erstrecken, was immer zu beträchtlichem Aufwand für manuelles Korrigieren von Fehlern führt [Dutton 78a].

In letzter Zeit sind in [Burton 79] und [Cox 80] zwei sehr ähnliche Vorschläge für eine systematische Behandlung geometrischer Daten gemacht worden. Dabei werden neben den Daten auch die darauf anwendbaren Operationen systematisch untersucht. Sie schlagen, mit abweichender Terminologie und Unterschieden in den Details,

- Mengen von Punkten,
- Mengen von Linien und
- Mengen von Flächen

als grundlegende Datentypen vor. Darauf werden die mengen-theoretischen Operationen, wie Vereinigung und Durchschnitt, angewendet, aber auch spezifisch geometrische Operationen, wie «Rand einer Fläche bilden» u.ä

werden vorgeschlagen. Burton bemüht sich dabei um Abgeschlossenheit der Operationen auf den eingeführten Datentypen und berücksichtigt auch die Unsicherheit bei der Erfassung von Messdaten. Beide Vorschläge enthalten aber keine Ansätze zur Beschreibung von geometrischen Konsistenzbedingungen.

In diesem Licht kann der in Teil 3 und 4 dieser Arbeit gemachte Vorschlag als Synthese zwischen der konsistenzorientierten DIME-Methode und den allgemeinen, von der Theorie der abstrakten Datentypen beeinflussten Vorschlägen in [Cox 80] und [Burton 79] aufgefasst werden.

7.2.3 Berücksichtigung semantischer Beziehungen zwischen den Objekten

Viele Systeme zur Bearbeitung kartographischer Aufgaben beschränken sich auf die Behandlung der geometrischen (z.T. nur graphischen) Daten, ohne die unterschiedlichen Bedeutungen der Objekte und die Beziehungen zwischen ihnen zu berücksichtigen.

Diesen Gesichtspunkt besonders hervorzuheben, war ein Hauptzweck der vorliegenden Arbeit

Verschiedentlich wurde auf die Datenbankmethoden hingewiesen [Weber 78] und Realisierungen mit Hilfe relationaler Datenbanksysteme versucht [Go 75], [Smedley 78]. Soweit diese auf standardisierten Datenbanksystemen aufbauen, benützen sie zur Strukturierung der Daten gleiche Methoden wie im 5. Teil dieser Arbeit

Kapitel 7.3

Datenbeschreibung mit dem erweiterten Entitäten-Block-Diagramm

7.3.1 Abstraktionsmethoden

7.3.2 Ausrichtung der Darstellung auf den Benutzer

7.3.3 Datenbeschreibung unabhängig vom verwendeten Datenbanksystem

7.3.4 Konsistenzbedingungen

Die in der Datenbankliteratur bekannten Methoden zur Beschreibung der Datenstrukturen und der Konsistenzbedingungen sind vorwiegend auf kommerzielle Anwendungen ausgerichtet. Die vorliegende Arbeit weist auf einige notwendige Erweiterungen hin, die hier zusammengefasst werden.

Bei der Datenbeschreibung wurde konsequent versucht, den Gesichtspunkt des Benützers in den Vordergrund zu stellen und eine Darstellungsmethode zu finden, die nur die Festlegungen enthält, die vom Benutzer aus gesehen wesentlich sind. Eine Ergänzung mit den datenbanktechnischen Einzelheiten erfolgt später. In gewissem Sinne wird damit eine Aufteilung des konzeptionellen Schemas nach [ANSI/X3/ SPARC] in zwei Beschreibungen vorgeschlagen [De 81].

7.3.1 Abstraktionsmethoden

Im allgemeinen können drei Arten von Abstraktion unterschieden werden:

- Zusammenfassen: Die einzelnen Teile eines konkreten Objektes werden zu einem Objekt zusammengefasst
- Klassieren: Konkrete Objekte werden in abstrakte Klassen eingeteilt
- Generalisieren: Aus mehreren abstrakten Klassen wird eine umfassendere gebildet

Traditionellerweise werden im Datenbankschema nur Zusammenfassung (Attribute zu Entitäten) und Klassierung (Entitäten zu Entitätsmengen) verwendet. In dieser Arbeit wurde auch die Generalisierung einbezogen; erst damit konnten einige der angetroffenen Beziehungen angemessen ausgedrückt und mehr Übersicht im Schema gebracht werden.

7.3.2 Ausrichtung der Darstellung auf den Benutzer

Im konzeptionellen Schema nach [ANSI/X3/ SPARC] wird eine logische Beschreibung der Daten festgehalten, aus der nachher das interne Schema abgeleitet werden kann. Die heute vorgeschlagenen Mittel zur Beschreibung des konzeptionellen Schemas konzentrieren sich zunehmend auf diese Aufgabe [CODASYL 78b]. Dennoch enthält das konzeptionelle Schema - vom Standpunkt des Anwenders aus - noch zu viele Details, die für ihn unwesentlich sind und die ihm die Übersicht erschweren.

Im 5. Teil dieser Arbeit wird eine graphische Darstellungsmethode vorgeschlagen, die das Entitäten-Block-Diagramm um die Generalisierung erweitert. Die Darstellungen zeigen die Beziehungen zwischen den Daten und die vorgesehenen Zugriffspfade. Solche Darstellungen sind auch für grössere Datenbank-Schemata

eine übersichtliche Grundlage für die Diskussion zwischen Benutzer und Datenbank-Administrator. Eine vergleichbare Darstellung kann dem Benutzer auch als Hilfsmittel für die Formulierung von Datenbank-Abfragen dienen [Frank 82a].

7.3.3 Datenbeschreibung unabhängig vom verwendeten Datenbanksystem

Die auf dem Markt erhältlichen Datenbanksysteme orientieren sich meist entweder am relationalen Datenmodell [Codd 82] oder am Netzwerkdatenmodell [CODASYL 71]. In den allermeisten Fällen kann ein logisches Datenbankschema formuliert werden, das mit zusätzlichen Hinweisen zur physischen Speicherung zum internen Schema erweitert wird.

Wird ein logisches Datenbankschema nach den in [Thurnherr 80] angegebenen Regeln erstellt, so lässt sich dieses sowohl für Netzwerk- als auch für relationale Datenbanken verwenden. Die genannten Regeln sind hier zugrundegelegt worden; deshalb lassen sich die hier gemachten Vorschläge in beiden Fällen anwenden.

7.3.4 Konsistenzbedingungen

Ein Teil der ermittelten Konsistenzbedingungen kann mit den in standardisierten Datenbanksystemen vorhandenen Mitteln sichergestellt werden. Wichtig sind insbesondere:

- Eindeutigkeit von Schlüsseln
- Wertebereiche für Felder
- Kontrolle, ob bestimmte andere Entitäten bereits gespeichert sind.

Die geometrischen Konsistenzbedingungen sind zum Teil aber so komplex, dass sie kaum anders als mit den Mitteln einer Programmiersprache zweckmässig ausgedrückt werden können. Die Integration solcher konsistenzprüfender Routinen in das Datenbankverwaltungssystem sollte erleichtert werden.

Kapitel 7.4

MINI-LIS als Beispiel einer Anwendung

7.4.1 Ziele des MINI-LIS

7.4.2 Realisierung des MINI-LIS

7.4.3 Einsatz von Datenbanksystemen

Die vorliegende Arbeit ist Teil der theoretischen

Grundlagen des Projektes MINI-LIS (vgl. 1.4.5). Die parallel zu dieser Arbeit laufende Entwicklung des MINI-LIS hat ganz wesentlich zur Klärung verschiedener Konzepte beigetragen, denn nie ist eine klare Formulierung einer Idee notwendiger, als dann, wenn man zu programmieren beginnt.

7.4.1 Ziele des MINI-LIS

Der am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich entstehende Prototyp für ein Landinformationssystem-Programm soll zeigen, dass eine Computer-unterstützte Bearbeitung von raumbezogenen Daten nützlich ist. Grundlegende Konzepte und Systemeigenschaften sind:

- Datenbank und Konsistenzbedingungen,
- Behandlung der geometrischen und semantischen Aspekte der Daten,
- interaktive Bearbeitung,
- graphische Darstellung,
- mehrere gleichzeitige Benutzer,
- Programmierung nach modernen Methoden in PASCAL,
- Verwendung eines preisgünstigen Computers,
- leichte Übertragbarkeit der Programme auf andere Computer.

7.4.2 Realisierung des MINI-LIS

In einer ersten Phase wird ein Kern von Funktionen auf einem Grossrechner (DEC-10) erstellt. An diesen Programmen soll dann die Beanspruchung des Rechners gemessen werden, so dass für eine gezielte Evaluation eines Kleincomputers (Mikrocomputer-System) die nötigen Angaben zur Verfügung stehen.

Die gleichzeitig laufenden anderen Projekte geben Einblick in die Leistungsfähigkeit von Kleinsystemen und zeigen, was beachtet werden muss, um erstellte Programme leicht von einer Maschine auf eine andere übertragen zu können.

7.4.3 Einsatz von Datenbanksystemen

Nach etwa vierjähriger Erfahrung mit einem handelsüblichen Datenbanksystem auf einem Grossrechner und COBOL als Programmiersprache haben wir selber das einfache, dem CODASYL Vorschlag ähnliche Netzwerk-Daten-

banksystem PANDA erstellt [Frank 82b]. Dabei wurden die für ein Landinformationssystem wichtigen Zugriffsverfahren von Anfang an eingeplant und insbesondere auch die Anforderungen, die sich aus der interaktiv-graphischen Arbeitsweise ergeben, berücksichtigt.

Dabei kamen wir zu folgenden Schlüssen:

— Handelsübliche administrativ orientierte Datenbankverwaltungssysteme können für die Verwaltung von geometrischen Daten eingesetzt werden. Die hier vorgeschlagenen Datenstrukturen lassen sich sowohl bei Systemen nach dem relationalen als auch beim Netzwerkkonzept anwenden.

— Sofern ein solches Datenbankverwaltungssystem über Hilfsmittel verfügt, um die Platzierung der Daten auf dem Speicher zu beeinflussen, müssen diese ausgenutzt werden, um Daten von Objekten, die räumlich benachbart sind, auch benachbart abzuspeichern. Damit kann der raumbezogene Zugriff stark beschleunigt werden [Frank 81b], [Frank 81e].

— Mit einem solchen System könnten Abfragen für die Darstellung von Ausschnitten aus einem Grundbuchplan programmiert und dabei Zugriffszeiten zwischen 20 Sekunden und 1 Minute erreicht werden. Das ist für Abfragen ein Knapp akzeptables Resultat. Für eine interaktive graphische Bearbeitung hingegen wäre eine Zwischenspeicherung der Bilddaten in Programmvariablen erforderlich.

— Systeme nach dem CODASYL-Standard [CODASYL 71], wie sie von verschiedenen Herstellern angeboten werden, verlangen im allgemeinen die Programmierung in COBOL. Die Nachteile dieser Programmiersprache gegenüber neueren Sprachen, wie PASCAL, Modula-2 [Wirth 82] u. a. sind gerade für die Formulierung geometrischer Algorithmen beträchtlich.

Das PANDA-Datenbanksystem ermöglicht, die Methoden des raumbezogenen Zugriffs zwischen logischer Datenverwaltung und Speicherverwaltung einzubauen (vgl. Figur 6-10). Wir erwarten deshalb bei PANDA eine gegenüber kommerziellen Datenbanksystemen merklich verkürzte Zugriffszeit.

Daneben wird in PANDA durch eine Änderung der Verwaltung des Daten-Puffers erreicht, dass auch geometrisch-graphische Routinen kaum eine lokale Datenspeicherung benötigen und sich direkt auf das Datenbankverwaltungssystem abstützen können.

Dabei wird die in 7.1.3 erwähnte Eigenschaft vieler geometrischer Algorithmen, lokal zu arbeiten, ausgenutzt.

Kapitel 7.5

Rückblick

Zuletzt sei dem Verfasser, im Sinne einer Einordnung dieser Arbeit in einen breiteren Zusammenhang, ein persönlich gefärbter Rückblick auf die Entwicklungen der letzten vier, fünf Jahre erlaubt.

Als ich an Weihnachten 1977 von Professor Conzett den Auftrag erhielt, mich mit Datenbanken und ihrer Anwendung im Vermessungswesen zu beschäftigen, war dieses Gebiet für mich, wie wohl für die meisten Vermessungsfachleute, noch «terra incognita».

Anhand der Literatur erarbeitete ich mir die Theorie und konnte auch schon bald auf dem Computer des Zentrums für Interaktives Rechnen der ETH Zürich mit dem dort installierten Datenbanksystem praktische Erfahrungen sammeln.

In dieser Zeit erkannten auch andere Vermessungsfachleute in zunehmendem Masse die Möglichkeiten, die das Datenbankkonzept dem Vermessungswesen eröffnet. Nach dem Einsatz des Computers für geodatische Berechnungen folgt nun der Einsatz zur Speicherung und Organisation der Daten in logischer Konsequenz. Auch bei den Anwendern wächst heute allgemein die Erkenntnis, dass sie diese Unterstützung benötigen.

Datenbanken sind eine der zentralen, neuen Ideen, die nach dem Grobkonzept [RAV 81] mit der Reform der amtlichen Vermessung eingeführt werden sollen. Datenbank und Landinformationssystem sind heute eingeführte Begriffe, die, wenn auch noch nicht die Praxis, so doch zumindest die Diskussion um die Zukunft des schweizerischen Vermessungswesens massgeblich beeinflussen.

Langsam zieht auch die Anwendung nach: Eine EDV-Dienstleistungsfirma im Vermessungswesen erstellt neuerdings ein Programmpaket für die Parzellarvermessung auf der Grundlage eines Datenbanksystems.

In diesen letzten fünf Jahren hat sich die Datenbank-Idee, wohl nicht zuletzt dank dem unermüdlichen Einsatz von Prof. Conzett, verbreitet. Ich hoffe, dass diese Arbeit einen Teil der für einen erfolgreichen Einsatz notwendigen theoretischen Überlegungen beitragen kann.

Zusammenfassung

Zuerst wird der Begriff Landinformationssystem geklärt und das Untersuchungsgebiet auf die zentralen Anwendungen Rechts- und Leitungskataster, die exemplarisch behandelt werden, eingeschränkt. Ausführlich untersucht werden die topologisch-geometrischen Beziehungen zwischen Punkten und Linien, wobei auch die sich aus der inhärenten Ungenauigkeit der Messmethoden ergebenden Probleme berücksichtigt werden. Dies führt zur Formulierung weniger, grundsätzlicher Regeln für die Konsistenz der geometrischen Primitive (Eindeutigkeitsbedingungen). Aus Punkten und Linien zusammengesetzte geometrische Sachverhalte können mit geometrischen Grundstrukturen beschrieben werden, die je durch bestimmte Konsistenzbedingungen charakterisiert und klassiert werden.

Die Darstellung der gefundenen topologischen und semantischen Beziehungen erfolgt in einem graphisch dargestellten Schema, das auf dem erweiterten Relationenmodell aufbaut und die drei Abstraktionsmechanismen Generalisierung, Aggregation und Klassifizierung konsequent anwendet.

Die ganz anders gearteten Nachbarschaftsbeziehungen werden mit einem Verfahren angegangen, das den raschen Zugriff auf die Daten nach der Lage der entsprechenden Objekte im Raum erlaubt.

Entscheidend für diese Arbeit ist die konsequente Anwendung des Datenbank-Konzeptes und der zugehörigen Prinzipien:

- Trennung von logischer Datenbeschreibung und Datenverwaltung von den verarbeitenden Programmen.
- Betonung der Fragen der Datenintegrität, hier besonders der Datenkonsistenz.

Die hier vorgelegten theoretischen Erwägungen wurden für die Implementierung eines Prototyp-Landinformationssystems benützt und dabei praktisch überprüft.

Abstract

First the term «Land Information System» is introduced and the goal of the study oriented toward its primary application areas, namely legal cadastre and utility line mapping. Then the topological and geometrical relations between points and lines, including the Problems caused by the inherent small errors of measuring procedures are treated extensively. A few principal rules, called rules of uniqueness, are developed. More complex geometrical objects may be composed of points and lines and classified by consistency constraints into different basic geometric structures.

Topological and semantic relations, that have been identified between entities, are presented in a graphical schema which is based on the extended relational data model and which includes the three basic mechanisms of abstraction, namely generalization, aggregation and classification.

The completely different vicinity relations are analyzed and a method of fast access to data of spatially related objects is described.

This study is based on the database concept and the following related principles:

- separation of data description and data management from application programs
- intense concern for data integrity, especially data consistency.

The results of this study as presented here have been used for implementing a Land Information System prototype and have proved applicable.

Literaturverzeichnis

- Ada 79 Preliminary Ada Reference Manual, ACM SIGPLAN Notices, Vol. 14, No. 6, June 1979
- Ämisegger 79 Ämisegger, H., Die Zugänglichkeit von Informationen über öffentlichrechtliche Grundeigentumsbeschränkungen und weitere Gegenstände Schweiz. Vereinigung für Landesplanung, des Bau- und Planungsrechtes, Schriftenfolge Nr. 24, Bern 1979
- ANSI/X3/SPARC Study Group on Database Management Systems, Interim Report, Bulletin of ACM SIGMOD, Vol. 7, No. 2, 1975
- Astrahan 76 Astrahan, M.M., System R: A relational approach to data base management, ACM TODS, Vol. 1, No. 2, June 1976, p. 97
- Baarda 73 Baarda, W., S-Transformation and Criterion Matrices, Netherlands Geodetic Commission, New Series, Vol. 5, No. 1, Delft 1973
- Baarda 76 Baarda, W., De levende aarde, Nederlands Geodetisch Tijdschrift, Vol. 6, No. 2, Februar 1976, p. 15
- Baarda 81 Baarda, W., The expanding neighbourhood of the geometre, Keynote Address, Group B, in [FIG 81], Vol. 0, p. 158
- Bancilhon 81 Bancilhon, F., Spyrtos, N., Update semantics of relational views, ACM TODS, Vol. 6, No. 4, December 1981, p. 557
- Bauknecht 80 Bauknecht, K., Zehnder, C.A., Grundzüge der Datenverarbeitung, Stuttgart, 1980
- Bense 73 Bense, M., Walther, E., Wörterbuch der Semiotik, Kiepenheuer und Witsch, Köln 1973
- BOCO 80 Classificatie van topographische elementen, Onderzoekrapport, Projekt groep BOCO-onderzoek, Deelgroep classificatie, Delft 1980
- Borgida 83 Borgida, A., Mylopoulos, J., Wong, H., Generalization as a basis for software specification, in: Brodie, Mylopoulos, Schmidt, Perspectives on Conceptual Modeling, Springer Verlag 1983 New York
- Burton 78 Burton, W., Efficient retrieval of geographical information on the basis of location, in [Dutton 78], Vol. 6
- Burton 79 Burton, W., Logical and physical data types in geographical information systems, Geo-Processing, Vol. 1, December 1979, p. 167-181
- Chevallier 81 Chevallier, J.J., Systèmes d'information du territoire (SIT) - une approche globale et systématique, paper 301.2, in [FIG 81], Vol. 3
- Chen 76 Chen, P., The entity-relationship model: toward a unified view of data, ACM TODS, Vol. 1, No. 1, 1976, p. 9
- Chrisman 78 Chrisman, N.R., Concepts of space as a guide to cartographic data structures, in [Dutton 78], Vol. 7
- CODASYL 71 Codasyl Data Base Task Group (DBTG), report, April 1971
- CODASYL 73 Codasyl DDL Journal of development, June 1973

CODASYL 78a	Codasy! Data Description Language Committee, Journal of development, January 1978		Systems Vol.6, No.2, 1981, p.117
CODASYL 78b	Draft Specification of a Data Storage Description Language, BCS/Codasy! DDLC, Data base administration working group, 1978	DEC 77a	Digital Equipment Corp., Data Base Management System (DBMS-10), Programmer's Procedures Manual, Maynard, Mass., 1977
Codd 70	Codd, E.F., A relational model of data for large shared data banks, Comm. ACM, Vol.13, No.6, June 1970, p.337	DEC 77b	Digital Equipment Corp., Data Base Management System (DBMS-10), Administrator's Procedures Manual, Maynard, Mass., 1977
Codd 71	Codd, E.F., Normalized data base structure: a brief tutorial, in: 1971 ACM SIGFIDET Workshop on Data Description, Access and Control, p.1	Dekker 81	Dekker, H.A.L., Het Kadaster: nu en stracks, Nederlands Geodetisch Tijdschrift Geodesia, Vol. 23, No.11, 1981, p.417
Codd 82	Codd, E.F., Relational data base: A practical foundation for productivity, Comm. ACM, Vol.25, No.2, February 1982, p.109	Denert 77	Denert, E., Franck, R., Datenstrukturen, Mannheim, Bibliographisches Institut, (Reihe Informatik 22), Mannheim 1977
Conzett 81	Conzett, R., Automatische Datenverarbeitung in der Vermessung, Vorlesungsnotizen, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, 1981	Digital 77	Digital AG, Vermessungs-Programmsystem PAVER, Zürich, April 1977
Corbett 73	Corbett, J., Farnsworth, G., Theoretical basis of dual independent map encoding (DIME), Internat DIME Colloquium, Conf. Proceedings, Census Bureau, Washington, D.C., 1973	Dutton 78	Dutton, G., (Ed.), First International Advanced Study Symposium on Topological Data Structures for Geographic Information Systems, Harvard Papers on Geographic Information Systems, Harvard University, Cambridge, Mass., 1978
Cox 80	Cox, N.J., Aldred, B.K., Rhind, D.W., A relational data base system and a proposal for a geographical data type, Geo-Processing, Vol.1, 1980, p.217	Dutton 78a	Dutton, G., Navigating ODYSSEY, in [Dutton 78], Vol.2
Cranford 78	Cranford, G.F., Editing and updating geographic base files - A discussion of practical processing alternatives, in [Dutton 78], Vol.7	Eastman 81	Eastman, C.M., Data base facilities for engineering design, Proceedings IEEE, Vol.69, No.10, October 1981, p.1249
De 81	De, P., Haseman, W.D., So, Y.H., Four-Schema approach: an extended model for data base architecture, Information	Eichhorn 79	Eichhorn, G., Landinformationssysteme, Vorträge und Diskussionsbeiträge zum Symposium der Fédération Internationale des Géomètres (FIG) vom 16. bis 21. Oktober 1978 an der TH Darmstadt, TH Darmstadt, Schriftenreihe Wissenschaft und Technik
		Eloranta 82	Eloranta, K., On the Representation of Urban Land Informa-

	tion, Helsinki University of Technology, Institute of Geodesy, Report 13, 1982	Frank 81c	Frank, A., Landinformationssysteme – theoretische und praktische Probleme, Paper 305.1, in [FIG 81], Vol. 3
Everest 81	Everest, C. C., Lawrence, C. T., Comparative survey of data base management systems on microcomputers, ACM SIGSMALL Newsletter, Vol. 7, No. 2, October 1981, p. 77	Frank 81d	Frank, A., Datenspeicherung für schnellen Zugriff auf Daten räumlich benachbarter Objekte, in Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Heft Nr. 85, Institut für angewandte Geodäsie, Frankfurt a. M., 1981, p. 37
Fagin 77	Fagin, R., Multivalued dependencies and a new normal form for relational data bases, ACM TODS, Vol. 2, No. 3, September 1977, p. 262	Frank 81e	Frank, A., Applications of DBMS to land information systems, 7th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB), Cannes (France), 1981, p. 448
Fagin 79	Fagin, R., Nievergelt, J., Pippen-ger, N., Strong, H. R., Extendible hashing – A fast access method for dynamic files, ACM TODS, Vol. 4, No. 3, Sep-tember 1979, p. 315	Frank 82a	Frank, A., MAPQUERY, Data base query language for retrieval of geometric data and its graphical representation, SIGGRAPH 1982 Proceedings, Computer Graphics, Vol. 16, No. 3, July 1982, p. 199
Fagin 81	Fagin, R., A normal form for relational data bases that is based on domains and keys, ACM TODS, Vol. 6, No. 3, Sep-tember 1981, p. 387	Frank 82b	Frank, A., PANDA Pascal Netz-werk Datenbank, Bericht Nr. 62, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, 1982
Findler 79	Findler, N. V., (Ed.), Associative Networks – Representation and Use of Knowledge by Computers, Academic Press, New York, 1979	Friedrich 74	Friedrich, H.-P., Datenverarbei-tung und Grundbuch, Schweizerische Zeitschrift für Beurkundungs- und Grund-buchrecht, Nr. 4, 1974, p. 193
FIG 81	Fédération Internationale des Géomètres, XVIe Congrès In-ternational des Géomètres, Proceedings, Montreux, 1981	Friedrich 80	Friedrich, H.-P., Rechtliche Voraussetzungen und Prob-leme einer EDV-Grundbuch-führung in der Schweiz, Schweizerische Zeitschrift für Beurkundungs- und Grund-buchrecht, Nr. 2, 1981, p. 78
Frank 80	Frank, A., Landinformationssys-teme – Ein Versuch zu einer Abgrenzung, in Nachrichten aus dem Karten- und Vermes-sungswesen, Reihe I, Heft Nr. 81, Institut für angewandte Geodäsie, Frankfurt a. M., 1980, p. 23	Go 75	Go, A., Stonebraker, M., Wil-liams, C., An Approach to Implementing a Geo-Data Sys-tem, Electronics Research La-boratory, College of Enginee-ring, University of California, Berkeley, Memo ERL-M529, June 1975
Frank 81a	Frank, A., Höhn, U., Entwurf zu einer zukünftigen Norm, Datensicherung in der amt-lichen Vermessung, VPK Nr. 9, 1981, p. 350		
Frank 81b	Frank, A., Bemerkungen zur Norm-Datensicherung, VPK Nr. 9, 1981, p. 346		

- Göttlinger 81 Göttlinger, F., Zechmeister, K., Projekt Grundbuchautomation in der BRD: – Fachliche Voraussetzungen und Zielvorstellungen – EDV-Konzeption, Schweizerische Zeitschrift für Beurkundungs- und Grundbuchrecht, Nr. 2, 1981, p. 65
- Grundbuchumstellungsgesetz 80 Grundbuchumstellungsgesetz – Bundesgesetz vom 27. November 1980 über die Umstellung des Grundbuches auf automationsunterstützte Datenverarbeitung und die Änderung des Grundbuchgesetzes und des Gerichtskommissärsgesetzes, Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, 1980, 210. Stück, 17. Dezember 1980
- Grundbuchverordnung Verordnung des Bundesrates betreffend das Grundbuch vom 22. Februar 1910, SR 211.432.1
- Guttenberg 79 Guttenberg, A.Z., Land data classification – a linguistic approach, Proceedings of the 7th European Symposium on Urban Data Management, The Hague, 1979, paper 8
- Guttenberg 81 Guttenberg, A., Uniformity and flexibility in the classification of topographic data, paper 301.4, in [FIG 81]
- Härder 78 Härder, T., Implementierung von Datenbank-Systemen, Carl Hanser Verlag München, 1978
- Härder 82 Härder, T., Reuter, A., Data Base Systems for Non-Standard Applications, Report Nr. 54, 1982, Fachbereich Informatik, Universität Kaiserslautern
- Hake 74 Hake, G., Kartographische Ausdrucksform und Wirklichkeit, in Festschrift für Georg Jentsch, Berlin, 1974
- Hartel 82 Hartel, M., Information, Kommunikation und Sprache – eine kybernetische Zusammenschau, GI Fachausschuss 3/4 Fachgruppe Rechnernetze, Mitteilungen Nr. 2, Februar 1982
- Hidber 72 Hidber, C., Die landesplanerische Datenbank – ein leicht anwendbares Informationssystem zuhanden der Planer des Bundes, der Kantone und der Gemeinden, DISP No. 24, Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung an der ETH Zürich, 1972
- Hossdorf 78 Hossdorf, H., Neues Computer-Konzept für die technische Planung, Neue Zürcher Zeitung, 18. Januar 1978, Nr. 14, p. 59
- Instruktion Instruktion für die Vermarkung und die Parzellarvermessung vom 10. Juni 1919, SR 211.432.23
- Kasper 81 Kasper, P., Conzett, R., Kaufmann, J., Matthias, H., Schwendener, H.-R., Zum Einsatz automatisch registrierender Tachymeter in der schweizerischen Parzellarvermessung, Mitteilungen Nr. 31, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, 1981.
- Kent 78 Kent, W., Data and Reality, North Holland, 1978
- Kimm 79 Kimm, R., Koch, W., Simonsmeier, W., Töntsche, F., Einführung in Software Engineering, W. de Gruyter, Berlin, 1979
- Klitzing 79 Klitzing, F., Die Bedeutung segment-orientierten Raumbezuges für die Kartierung in der räumlichen Planung, Bericht vom SORSA Forum 1978, Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Heft No. 79, Institut für angewandte Geodäsie, Frankfurt a.M., 1979, p. 79
- Kölbl 78 Kölbl, O., Trachsler, H., Grossräumige Nutzungserhebung

- mittels stichprobenweisen Auswertungen von Luftbildern, DISP Nr. 51, September 1978, Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung an der ETH Zürich, 1978, p. 36
- Kuhn 83 Kuhn, W., Späni, B., Frank, A., Ein anpassungsfähiges Konzept für die Datenaufbereitung mit Kleinsystemen, Fédération Internationale des Géomètres, XVIIe Congrès International des Géomètres, Proceedings, Sofia 1983, paper 513.1
- Kung 81 Kung, H. T., Robinson, J. T., An optimistic method for concurrency control, ACM TODS, Vol. 6, No. 2, June 1981, p. 213
- Lampson 81 Lampson, B. W., Paul, M., Siegert, H. J. (Ed.), Distributed Systems – Architecture and Implementation, Lectures Notes in Computer Science, 105, Springer Verlag, Berlin, 1981
- Lockemann 78 Lockemann, P. C., Mayr, H. R., Rechnergestützte Informationssysteme, Springer Verlag, Berlin, 1978
- Matthias 76 Matthias, H., Das Amtliche Vermessungswesen der Schweiz, Mitteilung Nr. 19, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, 1976
- Matthias 80 Matthias, H., Kasper, P., Schneider, D., Amtliche Vermessungswerke, Band 1: Geschichte und Grundlagen, AVW1, Sauerländer, Aarau, 1980
- Musterformulare Mustervorlagen zum Gebrauch der wichtigsten Grundbuchformulare und der Pfandtitel, Eidg. Grundbuchamt Bern, 1962
- Mylopoulos 81 Mylopoulos, J., An overview of knowledge representation, Proceedings of the workshop on data abstraction, data bases and conceptual modeling, Pingree Park, CO, June 1980, SIGMOD Record, Vol. 11, No. 2, February 1981, p. 5
- Nievergelt 81 Nievergelt, J., Hinterberg, H., Sevcik, K. C., The GRID FILE: an Adaptable, Symmetric Multi-Key File Structure, Bericht Nr. 46, 2. Auflage, Institut für Informatik, ETH Zürich, 1981
- Olivetti Olivetti Minicomputer P6060, Programmsystem Grundbuchvermessung, Bedienungsanleitung, Olivetti (Suisse) SA, Zürich
- Oracle 79 Oracle-Introduction, Relational Software Inc., Menlo Park, Cal., 1979
- Pelzer 80 Pelzer, H., Geodätische Netze in Landes- und Ingenieurvermessung, Konrad Wittwer, Stuttgart, 1980
- Perl 81 Perl, J., Graphentheorie, Grundlagen und Anwendung, Akademische Verlagsgesellschaft Wiesbaden, 1981
- RAV 78 Reform amtliche Vermessung, Vorstudie der vom Eidgenössischen Justiz- und Polizeidepartement eingesetzten Arbeitsgruppe, Bern, 1978
- RAV 81 Reform amtliche Vermessung, Grobkonzept, Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement, Vermessungsdirektion, Bern, 1981
- Rebsamen 82 Rebsamen, J., Reimer, M., Ursprung, P., Zehnder, C. A., LIDAS, A Data Base System for the Personal Computer Lilit, The Data Base Management, Bericht Nr. 50, Institut für Informatik, ETH Zürich, 1982
- Rebsamen 83 Rebsamen, J., Interaktive Datendefinition und Transaktionserzeugung: Wege zur Lösung des Konsistenzproblems bei Datenbanken, Institut für Informatik, ETH Zürich, in Bearbeitung

- Reuter 81 Reuter, A., Fehlerbehandlung in Datenbanksystemen (Datenbank-Recovery), Hanser Verlag, München, 1981
- Sabatier 78 Sabatier, J.P., First user of RGU, the french geocoding system, in [Dutton 78], Vol. 3
- Salomonsson 78 Salomonsson, O., Planning-oriented topological analysis method – some practical applications with the NIMS system, in [Dutton 78], Vol. 3
- Schlageter 77 Schlageter, G., Stucky, W., Datenbanksysteme: Konzepte und Modelle, Teubner, Stuttgart, 1977
- Schneider 80 Schneider, H.R., Grobkonzept OWOS (Objekt- und Katasterwesen), Zürich, März 1980
- Shannon 49 Shannon, C.E., Weaver, W., The Mathematical Theory of Communication, University of Illinois Press, Urbana, Chicago, 1949, seventh printing 1978
- Siemens 77 Universelles Datenbanksystem (UDS), Allgemeine Beschreibung, München, 1977
- Smedley 78 Smedley, B.S., The development of software systems to aid in physical planning, IBM Systems Journal, Vol. 17, No. 4, 1978, p. 359
- Smith 77 Smith, J.M., Smith, D.C.P., Database abstraction: Aggregation and generalization, ACM TODS, Vol. 2, No. 2, June 1976, p. 105
- Stonebraker 75 Stonebraker, M., Implementation of integrity constraints and views by query modification, Conference proceedings, ACM SIGMOD, 1975, p. 65
- Stonebraker 76 Stonebraker, M., Wong, E., Kreps, P., Held, G., The design and implementation of INGRES, ACM TODS, Vol. 1, No. 1, March 1976, p. 189
- SVVK 70 Die Schweizerische Vermessung – Ein Leitbild, Bericht der vom Schweizerischen Verein für Vermessungswesen und Kulturtechnik eingesetzten Kommission, Zürich, 1970
- Tamminen 81a Tamminen, M., Management of Spatially Referenced Data, Report HTKK-TKO-A23 (1981), Helsinki University of Technology, Laboratory of Information Processing Science, Helsinki, 1981
- Tamminen 81b Tamminen, M., The EXCELL Method for Efficient Geometric Access to Data, Acta Polytechnica Scandinavia, Mathematic and Computer Science Series, No. 34, Helsinki, 1981
- Thurnherr 80 Thurnherr, B., Konzept und Sprache für den Entwurf konsistenter Datenbanken, Diss. ETH Nr. 6526, Zürich, 1980
- Trachsler 80 Trachsler, H., Kölbl, O., Meyer, B., Mahrer, F., Stichprobenweise Auswertung von Luftaufnahmen für die Erneuerung der eidgenössischen Arealstatistik, Bundesamt für Statistik, Bundesamt für Raumplanung, Bern, 1980
- van Lamsweerde 81 van Lamsweerde, A.A.P.J.M., Spatial data structures for land information systems, Paper 301.5, [FIG 81], Vol. 3
- Vetter 77 Vetter, M., Hierarchische, netzwerkförmige und relationalartige Datenbankstrukturen, Diss. ETH Nr. 5739, Zürich, 1977
- Weber 78 Weber, W., Drei Typen geographischer Datenstrukturen – Gemeinsamkeiten, Unterschiede und eine mögliche Synthese, Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Heft No. 75, Institut für angewandte Geodäsie, Frankfurt a.M., 1978, p. 133

- | | | | |
|-------------|--|------------|---|
| Wedekind 81 | Wedekind, H., Datenbanksysteme I, Bibliographisches Institut (Reihe Informatik 16), Mannheim, 1981 | Zehnder 78 | Zehnder, C.A., Logische Datenstrukturen – die «höheren Datensprachen», RZ-Bulletin der ETH Zürich, November 1978, p.1 |
| Wild 80 | Wildmap, Interactive Photogrammetric Data Base and Mapping System, Operators procedure manual, Wild, Heerbrugg, 1980 | Zehnder 81 | Zehnder, C.A., Informationssysteme und Datenbanken, Verlag der Fachvereine, Zürich, 1981 |
| Wirth 75 | Wirth, N., Systematisch Programmieren, Teubner, Stuttgart, 1975 | ZGB | Schweizerisches Zivilgesetzbuch, SR 210 |
| Wirth 82 | Wirth, N., Programming in Modula-2, Springer Verlag, Berlin, 1982 | | |

Begriffsverzeichnis

- Attribute**
beschreiben die Eigenschaften von Entitäten näher.
- Beziehungen**
verbinden zwei Entitätstypen.
- Daten**
sind durch Zeichen dargestellte Informationen. Der Informationsgehalt eines Zeichens beruht auf bekannten oder unterstellten Abmachungen.
- Datenbank**
Daten und die zugehörigen Methoden für die Verwaltung und den Zugriff bilden zusammen eine Datenbank.
- Datenbanksystem**
Eine Sammlung von Programmen, die nach Anpassungen für die Verwaltung verschiedenster Daten verwendet werden kann.
- Datenbankverwaltungssystem**
Eine Sammlung von Programmen, die einen bestimmten Datenbestand verwalten.
- Entität**
Eine Entität ist ein individuelles Exemplar von Elementen der realen oder der Vorstellungswelt.
- Feld**
Der in einem Landinformationssystem bearbeitete Raum wird mehrmals schachbrettartig in Felder unterschiedlicher Größe aufgeteilt. Die Objekte werden diesen Feldern zugeordnet, so dass sie vollständig darin liegen.
- Fenster**
Rechteck mit Seiten parallel zu den Koordinatenachsen, das ein den Benutzer interessierendes Gebiet umschreibt.
- Geometrie**
Die Form und Lage eines Objektes, die geometrischen Eigenschaften also, werden kurz die Geometrie eines Objektes genannt.
- Geometrie, absolute**
Die Geometrie eines Objektes durch Koordinatenwerte in einem idealen Koordinatensystem beschrieben.
- Geometrie, gemessene**
Die Geometrie eines Objektes durch Koordinatenwerte dargestellt, wie sie sich aus den Messungen ergeben.
- Netz**
Eine Figur (Graph) von Kanten und Knoten; interpretiert werden die Kanten und Knoten und nicht die eventuell abgegrenzten Flächen (Gegensatz zur Partition). Nicht alle Kanten müssen Teile von Kreisen sein.
- Objekt**
Räumlich fixierte, unbewegliche Objekte, deren Lage und Form bekannt sind; sie sind die Gegenstände, über die in einem Landinformationssystem Daten gesammelt werden.
- Partition**
Eine lückenlose Einteilung des Raumes in Teilflächen, so dass sich diese nirgends überlappen.
- Raum**
Im Bereich Landinformationssysteme wird Raum im Sinne von «Erdoberfläche», also zweidimensional, verstanden.

Verwendete Abkürzungen

ACM	Association for Computing Machinery
Comm. ACM	Communications of the ACM
d. h.	das heisst
Ed, Hrgb	Editor – Herausgeber
EDV	<u>e</u> lektronische <u>D</u> aten- <u>v</u> erarbeitung
usw.	(und so weiter)
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
ETHZ	Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
FIG	Fédération Internationale des Géomètres (Internationale Vereinigung der Vermessungsingenieure)
IGP	Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
LIS	Landinformationssystem
m. E.	meines Erachtens
o. ä.	oder ähnliche
Publ.	Publisher (Verleger)
sog.	sogenannte
SR	Systematische Rechtssammlung des Bundes (Schweiz)
TODS	Transactions on Database Systems
vgl.	vergleiche
Vol.	Volume (Band)
VPK	Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik