

UNIVERSITÄT LEIPZIG

Institut für Informatik

**Vorlesung
Geo-Informationssysteme**

Dr. Dieter Sosna

Wintersemester 2005

Hinweise, Anmerkungen und Verbesserungsvorschläge bitte an:

- Dr. Dieter Sosna*

*`<dieter@informatik.uni-leipzig.de>`, <http://www.informatik.uni-leipzig.de/~sosna>



Die mittabstandstreue azimutale Abbildung der Erde ist winkel- und längentreu bezüglich des Hauptpunktes, hier die Stadt Leipzig.

Vorwort des Lesenden:

Die Idee zum vorliegenden Skriptum entstand während meiner Vorlesung „Geographische Informationssysteme“, die ich im Sommersemester 2003 an der Universität Leipzig für Studenten der Fachrichtung Informatik gehalten habe.

Jeder Informatiker, der im Bereich der Anwendungen tätig wird, muß notwendigerweise Kenntnisse der Fachsprache seines Anwendungsgebietes haben. Als einen Teil der Fachsprache auf dem Gebiets der Geographie betrachte ich die Darstellung von Sachverhalten mit geographischem Bezug in Karten. Diese Darstellung ist deshalb auch eine Standardform der Ergebnisausgabe für Anfragen an GIS. Für den Informatiker, der im Bereich der Geoinformationssysteme tätig ist, ist eine Übersicht über gebräuchliche Kartenentwürfe und ihre Anwendungsbereiche nützlich, für den, der an der Entwicklung solcher Systeme mitarbeitet, sind Kenntnisse der Konstruktion der Entwürfe notwendig. Mit dem Skript soll eine Übersicht gegeben werden. In Interesse eines leichten Verständnisses wurden die Darstellungen fast stets auf eine Kugelgestalt des Erdkörpers beschränkt, wohl wissend, daß dies für Fragestellungen z.B. aus dem Gebiet der Geodäsie nicht adäquat ist.

Ein weiterer Punkt ist eine Übersicht über mögliche geometrische Operationen, die in einem Geoinformationssystem auf die Objekte in der Datenbank angewendet werden können.

Natürlich darf der warnende Zeigefinger nicht fehlen: Das Skript ist eine knappe Darstellung der Vorlesungsinhalte, das Lesen dieses ersetzt weder Vorlesungsbesuch noch Literaturstudium.

An dieser Stelle möchte ich auch den Studenten Heiko Stamer, Goerg Apitz, Marco Apitz danken, die mich bei der Erstellung der Scripte zum Teil I der Vorlesung tatkräftig unterstützt haben. Dank auch Herrn Lukas Bechmann, er hat im Rahmen eines Schülerpraktikums den Anhang zur Geschichte der Kartographie erarbeitet.

Dieter Sosna

Literatur

- [1] *ABC Kartenkunde*
Brockhaus Leipzig, 1983
- [2] Bauer, Manfred: *Vermessung und Ortung mit Satelliten*,
Wichmann-Verlag, Karlsruhe, 1997, ISBN 3-87907-309-0
- [3] Bill, Fritsch: *Grundlagen der Geoinformationssysteme, Bd. 1*
Wichman-Verlag, Heidelberg, 1994,
- [4] Breusing, Dr. A: *Das Verebnen der Kugeloberfläche für Kartennetzentwürfe*
Verlag von H. Wagner und E. Debes, Leipzig, 1892
- [5] Dana, P.H.: <http://www.utexas.edu/depts/grg/gcraft>,
University of Texas, Austin
- [6] Hake, Grünreich: *Kartographie*
Walter de Gruyter, 1994
- [7] Kuntz, Eugen: *Kartennetzentwurfslehre*,
2. Auflage, Wichmann-Verlag, Karlsruhe, 1990, ISBN 3-87907-186-1
- [8] Schröder, Eberhard: *Kartenentwürfe der Erde*,
B.G. Teubner, Leipzig, 1988, ISBN 3-8171-1016-2
auch als Taschenbuch Band 61, Verlag H. Deutsch, 1999
- [9] Finsterwalder, R.: *Photogrammetrie*,
De Gruyter, Berlin, 1939, (UB:ZW Math. Geo₂-75)
- [10] Wilhelmy, Herbert: *Kartographie in Stichworten*,
Verlag Ferdinand Hirt, 1996, ISBN 3-266-03066-7
(mit ausführlichen Literaturhinweisen)

Mathematische Literatur

- FL94 Fischer, W.; Lieb, I.: *Funktionentheorie*,
Vieweg, 1994, ISBN 3-528-67247-1
- Kl83 Klotzek, B.: *Einführung in die Differentialgeometrie*,
Band I und II, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1983
- La77 Langwitz, D.: *Differentialgeometrie*,
B.G. Teubner, Stuttgart, 1977, ISBN 3-519-12215-4
- Lo97 Lorenz, F.: *Funktionentheorie*,
Spektrum Akad. Verlag, 1997, ISBN 3-8274-0197-6
- Pr57 Privalov, I.I.: *Einführung in die Funktionentheorie I*,
B.G. Teubner, Leipzig, 1957
(in Lehrbuchsammlung der UB Leipzig mehrfach vorhanden)
- Sch90 Schöne: *Differentialgeometrie*,
Reihe MINÖL, Band 6, B.G. Teubner, Leipzig, 1990, ISBN 3-322-00409-0

Karten und Datenquellen

- Landesvermessungsamt Sachsen
Verzeichnis der Karten und digitalen Daten
erscheint jährlich (?)
Anschrift: Olbrichtplatz 3, 01072 Dresden, PF 100244

Software

- Wessel, Pål; Smith, Walter H.F.: *GMT - The Generic Mapping Tools*
<ftp://gmt.soest.hawaii.edu/pub/gmt>

Inhalt der Vorlesung

Die Vorlesung Geoinformationssysteme gliedert sich in zwei Teile, die je in einer 2-stündigen Vorlesung angeboten werden, der Teil 1 im WS 2005/06, der Teil 2 im folgenden Sommersemester 06.

Folgende Themen sind vorgesehen:

Teil 1: Geoinformationssysteme aus Sicht des Geographen

Was ist ein GIS

- Definition
- Ausprägungen von GIS, Metriken zum Erdbezug
- Datenquellen für ein GIS, Dimensionenbegriff
 - Primärdaten, Sekundärdaten
 - Statistiken, Fremderhebungen
 - Daten aus Karten, Digitalisierung analoger Darstellungen
 - Auswertung von Satellitendaten zur Gewinnung von Sachdaten bzw. topographischen Daten
 - Standardisierung

Karten als typisches Ausgabemedium für GIS

- Koordinaten
- Kartenprojektion (Klassifikation, Beispiele)
- Gaus-Krüger-Koordinaten-UTM, UPS

Thematische Karten

- Arten thematischer Karten
- Darstellungsmöglichkeiten
Konventionen, Symbole, Farben, Dynamik

- Anfragesprache an GIS/GUI

Geometrische Objekte für GIS

- zweistufiger Modellierungsprozess in der Informatik
- kantenorientierte-, volumenorientierte-, flächenorientierte Modelle
- Modelle mit CSG-Baum (mit Quadtree, 2d-Baum(nichtadaptiv, adaptiv))
- Sweeping Modelle
- Geometrische Grundkonstruktionen im Rechner, Abhängigkeit der Algorithmen vom Geometriemodell
- Berechnung der konvexen Hülle von n Punkten, Komplexität von Verfahren

Teil 2: Operationen auf räumlichen Daten

Grundanfragen an geometrische Objekte

- Grundtypen der Anfragen: Enthaltensein von Punkten, Nachbarschaftsbeziehungen, Sachdaten
- Geometrische DB-Anfragesprache

Datenstrukturen

- Flächenfüllende Teilungen in der Ebene und auf der Kugel
- Erhalt der Nachbarschaftsbeziehungen
 - Flächenfüllende Kurven
 - Z-,N- Anordnung, als hierarchischer Baum
 - historisch: Zeilenstruktur, Mäanderstruktur, Spiralstruktur, Diagonalstruktur
- Punktdaten
 - allgemein k-dimensionaler Quadtree
 - k-d-Baum (Einfügen, Problem der Entartung, adaptive Partitionierung, Rebalancierung, Löschen, Punktabfrage, Bereichsabfrage)
- Bucket-Methoden für Punktdaten
 - Testgittermethode
 - hybride Baumstrukturen (2d-Baum) als hierarchische Struktur
 - nicht hierarchische Strukturen: grid file, hashing
- Streckendaten, Rechteckdaten
 - Einheitssegmentbäume
 - R-Bäume (nichtdisjunkte Gebiete), Punktabfrage, Einfügen, Rechteck vergrößern, splitten
 - R*-Bäume

1 Einführung

1.1 Grundlagen

1.1.1 Geoinformationssysteme

Der Begriff *Geographisches Informationssystem* wurde 1963 von R. F. Tomlinson bei der Einrichtung eines rechnergestützten raumbezogenen Informationssystems in Kanada geprägt. Mit diesem System wurde eine neue Technologie eingeführt: Einsatz von EDV in raumbezogener Datenhaltung (raumbezogen – hier im Sinne von: geographisch). Analoge raumbezogene Informationssysteme sind in Europa schon seit dem 19. Jahrhundert verbreitet: (thematische) Karten, Buchwerke. Diese Systeme sind durch ihren Umfang so komplex, daß sie schwerfällig handhabbar wurden. Zeit- und Arbeitsaufwand für Informationsretrivel und -präsentation wachsen überproportional. Sie sind neuen Anforderungen nicht gewachsen:

- Interdisziplinarität
- Flexibilität
- Geschwindigkeit in Verbindung mit großen Datenmengen

1.1.2 Datenbankverwaltungssystem, Datenbank

Ein Datenbankverwaltungssystem (DBVS) ist eine universelle Software zur Beschreibung, Speicherung und Wiedergewinnung von umfangreichen Datenmengen (evt. in mehreren Sammlungen), welches für die konkrete Anwendung eingerichtet wird. Fragen, die mit dieser Einrichtung in Zusammenhang stehen, werden in den Vorlesungen „Datenbanksysteme 1“ und „Datenbanksysteme 2“ besprochen.

Mit dem Begriff „Datenbank“ wird diese für die Anwendung eingerichtete Software mit den dort abgelegten Daten bezeichnet.

1.1.3 Informationssysteme

Informationssysteme sind Allzweckwerkzeuge zum rechnergestützten Behandeln und Analysieren von Daten und Informationen (K. Brassel , 1980) .

Definition: Informationssystem (R. Conzett, 1980) .

Beschränkt sich die Funktion eines Systems auf die Aufnahme, Speicherung, Verarbeitung und Wiedergabe von Informationen, so ist es ein Informationssystem. Es besteht somit aus der Gesamtheit der Daten und Verarbeitungsanweisungen. Der Benutzer soll imstande sein, daraus ableitbare Informationen in einer verständlichen Form zu erhalten.

Diese Definition beinhaltet einen wichtigen **neuen Aspekt**, der durch „Behandeln und Analysieren“ bzw. „Verknüpfung und Auswertung“ ausgedrückt wird – d.h. es können Informationen, die nicht direkt eingespeichert wurden, erhalten werden – es findet also eine Informationsverarbeitung statt.

Die erhaltenen Informationen können in einer der Thematik angemessen Form dargestellt werden. Beispiele solcher Formen sind:

Ökonomische Verhältnisse	Balken- und Tortengraphiken
Naturwissenschaften	Tabellen, Kurven

Geographie (thematische) Karten und Graphiken

Hauptaufgaben

Einbringen von Informationen	Quellen, Probleme, Datenumfang
Speicherung	Datenstrukturen für GIS (GIS II)
Verarbeitung	geometrische Konstruktionen, Anfragen
Ausgabe	Karten, Konstruktionen von Karten, thematische Karten (Spezialkarten, Topographische Karten etc.)

In dieser Vorlesung sollen diese vier Aufgaben besprochen werden.

1.1.4 Vier Komponenten eines Informationssystems

In einem GIS kommen 4 höchst unterschiedliche Komponenten zusammen, wenn man gestattet, den das System benutzenden Menschen mit seiner Erfahrung und seinem schöpferischen, nach neuen Erkenntnissen strebenden Geist als eine Komponente eines Informationssystems zu betrachten:

Komponente	Lebensdauer/ Erfahrung
Hardware	3 - 5 Jahre
Software	7 - 15 Jahre, Legacy Anwendung >15 Jahre
Daten	ggf. mehr als 100 Jahre , abhängig vom Umfeld, gesetzlichen Regelungen
Mensch	ca. 40 Jahre

Die Daten haben den längsten Bestand, sie stellen den Wert eines Informationssystem dar. Der Wert der Daten liegt in der Verlässlichkeit, der Vollständigkeit und ihrem Umfang. Dabei gibt es ein Problem zwischen der Langlebigkeit der Daten und der Erneuerungsrate bei Hard- und Software resp. der Kurzlebigkeit der Speicherung. Für viele Speicherverfahren bzw. Speichermedien, die vor 20 Jahren genutzt wurden, gibt es heute keine Geräte mehr. Dieses Problem ist relativ neu und existiert erst seit der Einführung von IT-Systemen. Bei Büchern besteht dieses Problem eher selten. Die Lösung wird dadurch erreicht, daß die technische Darstellung der Informationen immer auf dem aktuellen Stand der technischen Entwicklung gehalten wird. Auch dies ist nicht ohne weitere Schwierigkeiten und Unsicherheiten. So ist z.B. die Langzeitstabilität von (selbstgeschriebenen) CD und DVD bisher nur durch Alterungsversuche ermittelt, jedoch nicht durch die Realität bestätigt. Dies erfordert eine zyklische Erneuerung bzw. Aktualisierung von Hard- und Software und Sicherungskopien. Wenn auch der Arbeitszeitaufwand dafür durch den Einsatz von Robotern minimiert werden kann, ist dieser Sachverhalt bei der Kostenplanung und bei der Konzeption der Systeme zu berücksichtigen. ⁷

Trotz diese Probleme sind Informationssysteme als eine wichtige Komponente der Informationsspeicherung und -verarbeitung zu betrachten. Ihre Vorteile sind: Durch die Datenbanken bedingte Eignung zur Speicherung, Verwaltung und Wiedergewinnung von Masendaten. Die große Flexibilität der Informationsdarstellung. Die hohe Geschwindigkeit, die effiziente Suche.

Bei den Geoinformationssystemen finden sich viele für Data Warehousing typische Merkmale: Neben der Bereitstellung aktueller Daten haben viele GIS auch eine archivierende

⁷Die Unterschiede in der Nutzungsdauer bei Hard- und Software bzw. Daten ist derzeit bei vielen Anwendungsbereichen der Informatik zu beobachten, da eine enorme Leistungsentwicklung bei den Hardwarekomponenten zu beobachten ist.

Funktion.

Vielfach werden Daten aus verschiedenen Quellen integriert.

Auf den Datenbeständen wird durch Dataminingverfahren nach impliziten Informationen gesucht.

Für regelmäßig wiederkehrende Analysen erfolgt eine Vorverarbeitung, die mit Datamarts vergleichbar ist.

1.1.5 Raumbezogene Informationssysteme

sind eine besondere Ausrichtung von Informationssystemen. Sie unterscheiden sich von anderen Informationssystemen

- nach der Art der zu verwaltenden Daten (s.u.)

- durch *komplexe* Verarbeitungsschritte zur Verknüpfung der Daten.

Die Besonderheit der Daten in einem raumbezogenen Informationssystem besteht in der Verbindung der Daten durch einen räumlichen Bezug in oder auf der Erde. Daher resultiert auch der Name **Geoinformationssysteme** ($\eta \gamma \eta$, $\eta \gamma \alpha \acute{\iota} \alpha$ [griech.] Erde) oder abkürzend GIS. Es ist für den Begriff Geoinformationssystem unerheblich, ob die Daten die gesamte Erde betreffen (also globaler Natur sind) oder regionale bzw. lokale Teilbereiche beschreiben.

Diesem Merkmal der Daten entsprechend, wäre der Name „Raumbezogenes Informationssystem“ oder „Rauminformationssystem“ treffend. Dies könnte jedoch zu Verwechslungen mit einer Ausprägung der GIS, nämlich mit den \mapsto Rauminformationssystemen, führen.

Der Raumbezug der Daten wird durch *primäre* und *sekundäre Metriken* hergestellt. Die primären Metriken entsprechen direkt topographischen Koordinaten, die sekundären sind mittelbar, davon abgeleitet (z.B. Postleitzahlen, Regierungsbezirke, ...). Die Auswahl der Metriken wird durch die Anwendungen bestimmt, in einem GIS können beide Formen auftreten bzw. miteinander genutzt werden. Der Übergang von primären zu sekundären Metriken ist i.A. mit einem Informationsverlust verbunden, so daß eine Umkehrabbildung nicht existieren kann, auch sind verschiedene sekundäre Metriken i.a. nicht miteinander vergleichbar.

Der Wert der sekundären Metriken besteht in der Tatsache, dass sie i.A. eine sachbezogene Semantik haben, die bei den primären Metriken fehlt.

1.1.6 Geometrie- und Sachdaten, Objekte in einem GIS

Für die Daten lassen sich 3 wesentliche Komponenten angeben:

- raumbezogene (geographische) Daten

- Sachdaten

- Visualisierungshinweise

Die raumbezogenen Daten eines Objektes beschreiben die Lage der Objekte im Raum (d.h. meist auf der Erdoberfläche) und stellen den Bezug zwischen den Objekten her.

Sachdaten können unterschiedlicher Natur sein. Dies führt zu verschiedenen

Ausprägungen von GIS:

- geographische Daten und Erläuterungen dazu \mapsto Karten
- Informationen über Versorgungs- / Entsorgungsnetze \mapsto Netzinformationssysteme

- Daten über die Umwelt \mapsto Umweltinformationssysteme (Umweltschutz, Umweltbelastung, Beschreibung der natürlichen Umwelt, Wetter, Klima, Anwenderprogramme können Umweltprozesse auf Grundlage der Daten simulieren)
- Geo-Informationssysteme zu Bereichen der Geo-Wissenschaften im engeren Sinn (geologische Erscheinungen aller Art, kulturelle / ethnologische Belange)
- Amtliche Statistiken bevölkerungsspezifischer Daten (z.B Lebenserwartung, Sprachverbreitung, täglicher Arbeitsweg, Wohnortwechsel) mit geographischem Bezug als Grundlage planerischer Entscheidungen.
- Fachinformationssysteme: Spezialanwendungen, die bisher nicht erfasst sind (z.B. digitale Straßenkarten zur Navigation von Fahrzeugen).

Zwei Klassen von GIS werden besonders herausgehoben:

Landinformationssysteme

- durch Vermessungswesen ins Leben gerufen
- exakte geometrische Erfassung und Laufendhaltung des Grund und Bodens sowie hiermit verknüpfter Sachdaten. Basis ist Liegenschaftskataster, ist stets fortgeführt. Das Flurstück ist die kleinste Einheit, sie wird in vorgegebenem Koordinatensystem beschrieben.

Definition: Landinformationssystem (16.FIG-Kongress, Montreux 1982) *Ein Landinformationssystem (LIS) ist ein Instrument zur Entscheidungsfindung in Recht, Verwaltung und Wirtschaft sowie ein Hilfsmittel für Planung und Entwicklung. Es besteht einerseits aus einer Datensammlung, welche auf Grund und Boden bezogene Daten einer Region enthält, andererseits aus Verfahren und Methoden für die systematische Erfassung, Aktualisierung, Verarbeitung und Umsetzung dieser Daten. Die Grundlage eines LIS bildet ein einheitliches räumliches Bezugssystem für die gespeicherten Daten, welches auch eine Verknüpfung der im System gespeicherten Daten mit anderen bodenbezogenen Daten erleichtert.*

Merkmale:

- die 4 Komponenten eines GIS sind vorhanden (s. S. 5)
- Eingeschränkte zweckgebundene Datenmodellierung
- Strenge Permanentdatenhaltung, hohe Datenschutz- und sicherheitsbedingungen
- Dimension der Geometriedaten 2D (Liegenschaftskataster)
- zumeist statische Abfragen

Bemerkungen: meist großmaßstäbliche geometrische Fragestellungen, bei AKTIS Ausdehnung auf mittlere Maßstäbe, die die Aufgaben um die Topographie erweitert.

Im Vermessungswesen: Liegenschaftskataster, Landesvermessung (Höhen- und Lagefestpunktfeld, topographische Landesaufnahme), kommunale Vermessung, Ingenieurvermessung (Tagebaue).

Im Grundbuch: Bestandsnachweis, Eigentumsnachweis, Lasten und Beschränkungen, finanzielle Belastungen.

Die Daten in einem LIS erfordern häufig Vorkehrungen des Datenschutzes.

Definition: Rauminformationssystem.(Bill/Fritsch, 1991) *Ein Rauminformationssystem ist ein Instrument zur Entscheidungsfindung in der Raumbearbeitung sowie ein*

Hilfsmittel für Planung und Entwicklung. Es besteht aus einer Datensammlung zur Bevölkerungs-, Wirtschafts- und Sozialentwicklung, zum Infrastrukturausbau, zur Flächennutzung und den Ressourcen, die in regionale Entwicklungssysteme und raumbedeutsame Vorhaben einfließen. Ebenso sind die Verfahren und Methoden zur Erfassung, Aktualisierung und Umsetzung dieser Daten wesentlicher Bestandteil des Informationssystems. Die Grundlage bildet der einheitliche Raumbezug, der die verschiedenartigen Daten verknüpft.

Merkmale

- 4 Komponenten eines GIS (s. S. 5)
- freie Objektmodellierung
- Permanentdatenhaltung
- hohe Interaktivität
- Analyse steht im Vordergrund
- Trend zu hybriden GIS (Vektor- und Rasterdaten)
- Dimension der Geometriedaten 2D bis 2.5D
- Stärken in der Visualisierung

Untergliederungen:

- Raumordnungsprogramm (Raumordnungskataster)
- Landesentwicklungsprogramm (Landesentwicklungsplan, Gebietsentwicklungsplan)
- Kommunale Entwicklungsplanung (Flächennutzungsplan, Bauleitplan)
- Amtl. Statistik (Statistisches Bodeninformationssystem, Infrastruktorkataster, Baustatistik)

Diese Ausprägungen von GIS verdeutlichen noch die Rolle als Informationssystem für Führungskräfte.

Objekte in einem GIS

Beim derzeitigen Stand der Programmierkunst bildet die Objektorientierung einen beinahe natürlichen Zugang zur Realisierung von GIS, die Vielfalt der Sachverhalte mit geographischem Bezug läßt sich hier relativ übersichtlich darstellen. Viele GIS stützen sich deshalb auf objektorientierte DBVS oder bilden eine objektorientierte Schicht über einem relationalen DBVS, stellen also eine spezielle Ausprägung eines objektrelationalen DBVS dar.

Ein Objekt ist eine konkrete physisch, geometrisch oder begrifflich begrenzte Einheit der Natur mit eigener Identität (Modellierung mittels Objektidentifikator, häufig hierarchische Klassenbildung möglich, OO-Modellierung). Das Objekt wird bestimmt

- durch seinen inneren Zustand, d.h. seine Attribute und deren Werte.
- durch seine Eigenschaften, d.h. seine Methoden, die Werte zu beeinflussen

Auch spielen typische Eigenschaften der Objektorientierung wie Vererbung eine Rolle: Ein Beispiel ist der folgende Auszug aus der (vereinfachten) Objekthierarchie in einem Energieverteilungsnetz:

```
Klasse Objekt()
    Unterklasse Station(Ort) von Objekt
    UnterUnterklassen
```

Erzeuger(Ort, Leistung),
 Umformer(Ort, Leistung, Verluste u.a.),
 Verbraucher(Ort, Leistung)
 Unterklasse Leitung(Ort-1, Ort-2, Parameter) von Objekt
 (stellt gleichzeitig die \rightarrow topologische Modellierung des Netzes dar).

Mit ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland wurde ein Objektartenkatalog für digitale Geländemodelle in verschiedenen Maßstäben aufgestellt. Wahrscheinlich wegen der hohen Komplexität war es nicht möglich, eine generelle Objektdefinition zu geben, von der dann die Spezifika der Objekte für die einzelnen Maßstäbe abgeleitet werden können.

Dimensionalität der Daten

Der Begriff *Dimension der Daten* wird im Kontext der GIS in 3 Bedeutungen gebraucht:

- Dimension geometrischer Daten:
 - **2D-Daten:** Geometriedaten nur durch xy-Werte gegeben (Planimetrie)
 - **3D-Daten:** xyz-Koordinaten sind in hinreichender Dichte gespeichert (\mapsto geometrisches Modellieren)
 - **4D-Daten:** neben Ortsbezug wird Zeitabhängigkeit gespeichert
 - **2,5D-Daten:** Zur Lagegeometrie wird die Höhe als Attribut gespeichert, damit wird die räumliche Beschreibung abhängig von der Dichte der Objekte in der Lagegeometrie (Sachdatenabsorption).
 - **(2+1)D-Daten:** *unabhängig* von den geometrischen Angaben der Sachdaten wird eine Höhenbeschreibung des Geländes geliefert. Trend zu echter 3D-Modellierung

Bild derzeit nicht verfügbar

Abbildung 1: Dimension der Geometriedaten, Quelle: [3]

- Thematische Dimensionalität:
 Thematisch n-dimensional - n verschiedene thematische Ebenen gegeben:

Bild derzeit nicht verfügbar

Abbildung 2: Dimension der Sachdaten, Quelle: [3]

Beispiel 1: Schadstoffkataster: Schadstoffe (nach Art und Stärke), dh. 1-dimensional.

Beispiel 2: digitales Geländemodell - reine geometrische Darstellung - thematisch dimensionslos.

- Topologische Dimension:
 - ↳ topologisches Modellieren: Null-, Eins-, Zwei- und Dreizellen

Bild derzeit nicht verfügbar

Abbildung 3: Topologische Dimension, Quelle: [3]

1.2 Datenquellen für Geoinformationssysteme

Bei der Datenerhebung werden zwei unterschiedliche Arten unterschieden.

1. Direkte Datenerhebung

Vorteil: Die Datenerfassung wird direkt auf den Zweck der Erfassung abgestimmt. Es können alle gewünschten Merkmale und Qualitätsanforderungen umgesetzt werden.

Nachteil: Dieser besteht im hohen Kostenaufwand, da keine Weiterverwendung der Daten durch andere Nutzer vorgesehen ist.

2. Übernahme vorverarbeiteter Daten

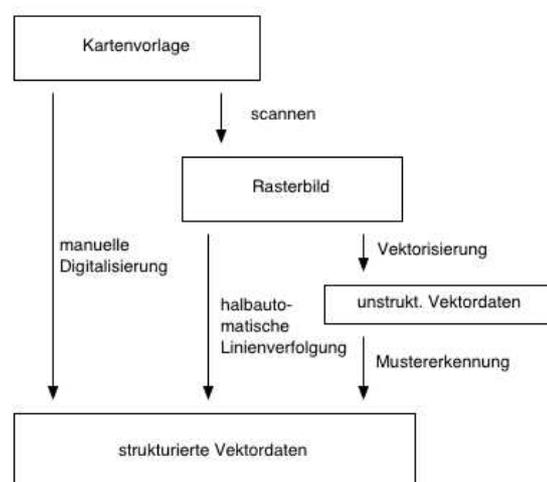
Eine sehr große Rolle spielt auch die Übernahme von Daten aus anderen Quellen. Dieses Vorgehen entspricht auch mehr dem DW-Charakter eines Informationssystems. Dabei können Karten, Luftbilder, Satellitenaufnahmen und Daten der Satellitenfernerkundung verwendet werden. Auch kann auf Statistiken, Verzeichnisse, Datenbanken und andere GIS zurückgegriffen werden.

Vorteil: Es entstehen erheblich geringere Kosten.

Nachteil: Vorverarbeitung führt zu Informationsverlust. Einschränkung der Nutzbarkeit. Wünschenswert ist an dieser Stelle der Nachweis der Quelle bzw. der bisherigen Schritte der Datenverarbeitung, um auch später die Qualität und Eignung der Daten für neue Auswertungen beurteilen zu können. (Auch dies eine typische DW-Fragestellung - Metadaten über die Datenquellen.)

Erfassung topographischer Grunddaten

Die Bereitstellung dieser Daten ist in Deutschland Aufgabe der Landesvermessungsämter und des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie. Hier werden analoge und digitale Karten zur Verfügung gestellt und es werden digitale Daten als Grundlage zur Kartenerstellung angeboten.⁸ Bei der Gewinnung der topographischen Grunddaten spielt neben der Auswertung der originalen Vermessung die Gewinnung von topographischen Grunddaten aus analogen Karten eine wesentliche Rolle, dabei treten noch spezielle Fehlerquellen auf.



⁸Da die Erfassung der Daten sehr teuer ist, sind diese meist nicht frei verfügbar, sondern werden kommerziell vertrieben. Die frei verfügbaren Daten sind meist sehr ungenau.

Abbildung 4: Vorgehensweise bei der Digitalisierung von analogen Karten

Die manuelle Digitalisierung der Daten geschieht mittels einer speziellen Hardware, einem Digitalisiertablett, und der zugehörigen Auswertesoftware. Diese gestatten, die Position eines Fadenkreuzes einer Maus auf einer speziellen Unterlage mit einer Genauigkeit von 0,1mm zu ermitteln. Mit diesem Gerät werden in Handarbeit die charakteristischen Punkte geometrischer Objekte in der gezeichneten Karte vermessen und dem Objekt im GIS zugeordnet. Dies ist sehr arbeitsintensiv, hat aber den Vorteil der sehr guten Qualität, da menschliche Intelligenz sowohl bei der Feststellung der Geometrie der Objekte als auch bei der Erkennung der Semantik der abgetasteten Objektteile eingesetzt wird.

Bei einem zweiten Verfahren wird die Karte mit einem Präzisionsgerät gescannt. Das entstandene Rasterbild wird mit Methoden der Bildverarbeitung automatisch oder halbautomatisch (Bewertung durch Menschen) in Vektordaten umgeformt ⁽⁹⁾.

Auch die Feststellung der Semantik erfolgt (halb-)automatisch. Die Verfeinerung solcher Verfahren ist mit Hinblick auf die automatische Auswertung von Luftbildern und Satellitendaten (s.u.) Gegenstand der Forschung.

Ein grundsätzliches Problem bei der Ableitung von Daten aus Karten besteht in der Generalisierung und Verdrängung.

Generalisierung

Einzelne Objekte (z.B. Straßen) werden nicht im Maßstab dargestellt sondern durch ein normiertes Symbol (hier Doppellinie vorbestimmter Breite); daraus kann nicht auf die wahren Abmessungen geschlossen werden. Ein besonders krasses Beispiel hierfür ist die Darstellung von Städten in kleinmaßstäblichen Karten. Als Zeichen für die Stadt zählt nur noch ein Kreis, dessen Durchmesser Rückschlüsse auf die Einwohnerzahlen zulässt. Der Kreismittelpunkt beschreibt die Lage des Ortes, aber in welcher Beziehung steht dieser Punkt zu dem Flächenobjekt „Ort“ (Zentrum, Markt, Schwerpunkt, ...)?

Verdrängung

Zwei Symbole mit standardisierter Größe (z.B. Bahnhof und Brücke) überdecken sich im Bild. Also verschiebt der Kartograph ein Symbol etwas, um beide Symbole darstellen zu können. Bei dieser Verschiebung hat der Kartograph Freiheitsgrade für eigene Entscheidungen. Jetzt kann aber aus der Lage des Symbols nicht mehr auf die wirklichen Koordinaten geschlossen werden.

⁹Beim Scannen muss eine hohe Auflösung benutzt werden, um auch Details zu erfassen. Diese Auflösung des Bildes bewirkt seinerseits, dass linienförmige Objekte im gescannten Bild als Fläche erscheinen, deren Rand nicht scharf ist, sondern verlaufend. Aus diesen Flächen muss ein möglichst genauer Verlauf des Linienobjekts rekonstruiert werden. Ein Ansatz dazu ist die *Skelettierung*, für dieses Vorgehen existieren verschiedene Algorithmen, die auch unterschiedliche Resultate liefern, für die Verfahren gibt es Sachverhalte in denen sie fehlerhafte Ergebnisse liefern. Deshalb ist meist eine Nachkontrolle notwendig.

Photogrammetrie ¹⁰ als Verfahren zur Datengewinnung

Mit den folgenden Methoden können sowohl geographische Grunddaten als auch Sachdaten erfasst werden. Zunächst werden Rauminformationen nach dem Prinzip der Stereokamera¹¹ gewonnen. Früher geschah die Auswertung der Stereobilder geschultes Personal mit Hilfe feinmechanisch-optische Geräte. Das Prinzip besteht darin, daß zwei Kameras mit bekannter (innerer) Geometrie an zwei bekannten Orten plaziert werden, die das gleiche Objekt photographieren. Es entstehen zwei (unterschiedliche) Bilder, durch deren Auswertung (bzw. durch die Auswertung der Unterschiede) die Koordinaten der in den Bildern dargestellten Objektes ermittelt werden können. In dem Gerät wird ein Zeiger bewegt, bis er scheinbar über dem Stereobild eines Objektes steht. Die Bildkoordinaten erhält man durch Ablesen der mechanischen Einstellung am Gerät.

Heute erfolgt die Auswertung der Aufnahmen durch den Rechner. Die Bilder werden gescannt und die Software führt eine Mustererkennung durch, bei der sie die Muster auf beiden Bildern vergleicht. Aus den Unterschieden zwischen den Aufnahmen, den Koordinaten, an den sich die Kamera bei der Aufnahme befand, und den Daten der Meßkammer können dann die Koordinaten der Objekte berechnet werden. Moderne Rechenverfahren erlauben auch inhaltliche Aussagen, indem man z.B. Farbaufnahmen und Infrarotbilder auswertet. Die Darstellung der Objekte in verschiedenen Spektralbereichen läßt in Verbindung mit Texturanalysen Aussagen über Bewuchs (Wald, Wiese) sowie Zustand des Bewuchses (Waldschäden, Vertrocknung) zu. Sie liefern u.a. auch Angaben zur Luftverschmutzung.

Luftbilder und Satellitendaten

Mit Satelliten und aus Flugzeugen können photographische Aufnahmen mit großer Detailtreue gemacht werden. Die Auswertung erfolgt in ähnlicher Art wie eben beschrieben.

Bei allen photographischen Datenerhebungen spielen Aufnahmen in den verschiedenen Spektralbereichen eine wichtige Rolle.

Die Meßwerte, die die Satelliten- und Luftaufnahmen liefern, gehören jedoch auch ganz anderer Art sein.

Durch Schweremessungen kann auf die Gestalt der Erde und Bodenschätze geschlossen werden, durch Magnetfeldmessungen ebenfalls auf Bodenschätze.

Aufnahmen im optischen Bereich kann Objekte flach unterhalb der Erdoberfläche zum Vorschein bringen, so zum Beispiel archäologische Funde.

Durch Radarmessungen vom Satelliten aus kann eine Erforschung der Meereswellen erfolgen. Durch eine ähnliche Technik wurde 2002/2003 von einem amerikanischen Satelliten das Höhenprofil der Erde mit bisher ungekannter Präzision vermessen.

Messungen des Zustandes der Sonne und der Sonnenwinde geben Rückschlüsse auf das Funkwetter. Vom Zustand der Sonne kann aber auch die moderne Kommunikation (via Satellit oder terrestrisch) bis zum Totalausfall beinflusst werden. Schätzungen zu Folge werden täglich Satellitendaten im Terrabyte Bereich erfasst (Stand 2000).

Grundsätzlich gilt, dass alle bildgebenden Verfahren große Datenmengen produzieren.

¹⁰Finsterwalder [9]

¹¹Hier wird eine sog. Meßkammer verwendet, diese ist ein kalibrierter Photoapparat, dessen Geometrie exakt bekannt ist.

1.3 Standardisierung in GIS

Ziele

Standardisierung im Bereich der Informationssysteme hat im wesentlichen zwei Ziele

- Datenaustausch
Durch die Festlegung von Datenstrukturen, ihres Aufbaus, ihrer Semantik, bzw. von Formaten zum Datenaustausch zwischen verschiedenen Systemen, die unabhängig von der verwendeten Hardware, vom verwendeten Betriebssystem, von der verwendeten Datenbanksoftware und von dem verwendeten Informationssystem sind, werden sowohl der Austausch von Daten zwischen verschiedenen GIS und der Migration auf neue Soft- und Hardware unterstützt (Datenunabhängigkeit).
- Sicherung der Datenqualität
Neben den eigentlichen Daten werden Metadaten mit erfasst, die die Qualität der Daten beschreiben. Als Beispiel mögen Messdaten dienen. Neben den eigentlichen Daten werden Angaben zur Genauigkeit (Fehlerabschätzungen), Angaben zum Messverfahren, Angaben zum Messgerät, Angaben zu sonstigen Umständen der Messung, die das Ergebnis beeinflussen können, mit erfasst. Obwohl die verschiedenen Informationssysteme verschiedenen Zielen dienen, ergeben sich vielfach gleichartige Anforderungen an die Qualität der Daten und der Metadaten. Die Standardisierung bringt hier kürzere Entwicklungszeiten und bessere Qualität einer Entwicklung, die Gefahr, dass allgemeingültige Details nicht beachtet werden, verringert sich.
- Weitere Standardisierungen von Schnittstellen in GIS ergeben sich, dass ein GIS eine Applikation ist, die auf einem Betriebssystem aufsetzt, Nutzerinterfaces für interaktive Nutzung bereitstellt (die sich ihrerseits auf graphische Nutzeroberflächen abstützen - Windows, X-Windows) und ggf. spezielle Hardware (Plotter, ...) zur Ausgabe nutzt. Hier sind vorgegebene Schnittstellen zu realisieren (z.B. HPGL- Plottersprache, Postscript bzw. PDF als hardwareunabhängige Ausgabeformate). Auch die Benutzung von Datenbanken beruht i.A. auf einer Kommunikation auf der Basis der SQL-Spezifikation. Die Verteilung des GIS in einem Netz sollte sinnvollerweise über ein standardisiertes Protokoll erfolgen.

Die Standardisierungsvorschläge lassen sich zwei Kategorien zuordnen:

Abstrakte Spezifikationen (z.B. ISO 19115)

Implementierungsspezifikationen.

1.3.1 Gegenstand der Standardisierung

Von den genannten 3 Punkten sind die ersten beiden GIS-spezifisch, der dritte soll hinsichtlich der Datenbankanfragesprache SQL diskutiert werden.

Daten, logische Datenstrukturen:

Die Standardisierung betrifft sowohl die Daten und deren Metadaten und die Datenaustauschformate. Entsprechend der generellen Entwicklung setzten sich bei den Austauschformaten XML-basierte immer stärker durch, da sie insbesondere die Flexibilität für Erweiterungen mit sich bringen. Die Standardisierung betrifft sowohl den geographischen Bezug der Daten, die geometrischen Daten und die Sachdaten. Bei der Beschreibung des geographischen Bezugs der Daten beschreibt die Standardisierung alle Angaben, die zur Erklärung der Semantik der verwendeten Koordinaten notwendig sind (Referenzellipsoid,

Datumsfestsetzung, Höhenfestsetzung, vgl. Kapitel ???) Der ATKIS-Objektartenkatalog soll hier als Beispiel einer Standardisierung geometrischer und topographischer Sachdaten angeführt werden.

Zitat aus dem ATKIS-Objektartenkatalog:

Der ATKIS-OK ist attributorientiert aufgebaut. Danach wird die Landschaft nach Objektarten grob und mit Hilfe von Attributen fein gegliedert. Dieser Aufbau erlaubt die freie Selektion topographischer und, soweit bereits hier integriert, auch anderer fachlicher Sachverhalte.

Das topologische Netz der Straßen und Wege, Schienenbahnen und Gewässer ... teilt die Landschaft, sofern die Objekte bzw. Objektteile auf der Erdoberfläche liegen, zunächst in Maschen auf. Diese Maschen werden in der Regel durch flächenförmige Objekte gefüllt, so dass jeder Teil der Erdoberfläche redundanzfrei (¹²) z.B. durch die folgenden Objektarten (Grundflächen) beschrieben wird:

- Wohnbaufläche, Industrie- und Gewerbefläche, Fläche gemischter Nutzung, Fläche besonderer funktionaler Prägung
- Sportanlage, Freizeitanlage, Friedhof, Grünanlage, Campingplatz
- Tagebau, Grube, Steinbruch, Halde, Aufschüttung, Absetzbecken, Schlammteich, Erd-faulbecken
- Platz, Straßenkörper, Bahnkörper
- Flughafen, Flugplatz, Landeplatz
- Hafenbecken
- Bahnhofsanlage, Raststätte
- Vegetationsflächen außer ‚Nasser Boden‘
- Strom, Fluss, Bach, Kanal (Schifffahrt), Graben, Kanal (Wasserwirtschaft), Quelle, Meer, Binnensee, Stausee, Teich
- Stromschnelle, Wasserfall
- Talsperre, Wehr, Schleusenkammer

(Zitat Ende)

Die Standardisierung des ATKIS-OK umfasst auch Hinweise, wie die Objekte zu bilden sind, welche Geometrieformen zulässig sind, zur Namensgebung usw.

SQL:

SQL (standard query language) ist die Standardanfragesprache für relationale Datenbanken und steht auch in objektrelationalen DBVS zur Verfügung. Der Standard beinhaltet jedoch keine Unterstützung für raumbezogene Datenstrukturen. Deshalb ist es notwendig, in einem GIS entsprechende Erweiterungen vorzunehmen.

Standardisierer

Einige markführende Hersteller der Software für GIS haben mit ihren Produkten Quasistandards im Bereich der Datenmodelle und der Austauschformate geschaffen. Der Entwickler

¹²die Redundanzfreiheit ist in einigen Fällen nicht adäquat zur Realität, deshalb werden auch Ausnahmen definiert, in denen sich Objekte überlagern können. D.S.

neuer Produkte muss für diese Formate zumindest den Import von Daten vorsehen. Viele Softwareprodukte besitzen ihrerseits einen solchen Import, so dass auch eine Exportfunktion in diesen Formaten vorgesehen werden muss, wenn die Funktionalität der Produkte genutzt werden soll.

Internationale (nichtkommerzielle) Organisationen haben sich im letzten Jahrzehnt Verdienste um die Standardisierung erworben:

Open Geospatial Consortium (OGC): über 200 Mitglieder , Vvertreter von Wirtschaft, staatlichen Stellen, Wissenschaft.

Technisches Komitee 211 „Geographic Information/Geomatics “ der ISO (ISO/TC211), ca 30 Mitgliedsstaaten und 30 Beobachter.

ISO/IEC-Komitee zur Entwicklung der Norm „SQL/MM“.

An einer Standardisierung sind vielfach auch staatliche Dienststellen interessiert, da sie GIS zur Erfüllung ihrer Aufgaben einsetzen und hier Interoperabilität fordern. Beispielhaft seien für Deutschland die Standardisierung in ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem, URL www.atkis.de) , ALKIS (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem , URL <http://www.lverma.nrw.de/produkte/liegenschaftsinformation>) und AFIS (Amtliches Festpunkt Informationssystem) genannt (gemeinsam auch AAA-Projekt). Zitat aus der Alkis-Webpräsentation (¹³):

Die Modellierung der AAA-Datenstruktur und der Schnittstelle NAS (Normbasierte Austauschschnittstelle) folgen den Normen und Standards der International Standardization Organisation (ISO) und des Open Geospatial Consortiums (OGC) und sind eingebettet in ein umfassendes AAA-Referenzmodell. Die Datenstruktur des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS) ist ebenfalls an diese Normen und Standards angepasst und mit denen von ALKIS vereinheitlicht. Der Raumbezug wird entsprechend in dem Amtlichen Festpunkt Informationssystem (AFIS) abgebildet. Durch die einheitliche Modellierung ist die vertikale und horizontale Integration der Geobasisdaten sowie deren Interoperabilität mit anderen Fachinformationen sichergestellt.

Die software- und plattform-unabhängige Modellierung ermöglicht die einfache Anbindung beliebiger Fachinformationssysteme (FIS), wenn sie ebenfalls den internationalen Normen und Standards folgen. Durch die Verwendung der auf XML-Strukturen basierenden Schnittstelle NAS können die ALKIS-Daten in jedem Browser visualisiert werden. Um die einheitliche Führung und Bereitstellung von Geobasisinformationen in Deutschland zu gewährleisten, ist durch die AdV z.B. für den Bereich der Geobasisinformationen des Liegenschaftskatasters ein ALKIS-Grunddatenbestand definiert, den alle Bundesländer bereitstellen müssen.

Für die Umsetzung von ALKIS geben die Vermessungs- und Katasterverwaltungen der Länder lediglich die Modellierung der Datenstruktur und der Schnittstelle vor. Die Implementierung der Geoinformationssysteme wird durch die GIS-Firmen der freien Wirtschaft vorgenommen.

Im Rahmen des AFIS-ALKIS-ATKIS-Projektes wird durch die permanente Fortschreibung der Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok) über Revisionslisten der Länder eine umfassende Qualitätssicherung zum AAA-Konzept geleistet.

¹³<http://www.lverma.nrw.de/produkte/liegenschaftsinformation/katasterinfo/alkis/ALKIS.htm>

Nutzungsmöglichkeiten:

Durch die integrierte Führung der Geobasisdaten des Liegenschaftskatasters in einer Verfahrenslösung ALKIS ergeben sich vielfältige Nutzungsmöglichkeiten sowohl auf dem privaten als auch auf dem öffentlichen Sektor. Anwendungen sind überall dort zu sehen, wo rechtlich verbindliche, aktuelle und hochgenaue Geobasisdaten benötigt werden, z.B.: Rechtspflege, Verwaltung, Wirtschaft, Land- und Forstwirtschaft, Energiebewirtschaftung, Umweltschutz, Wohnungswesen, Landnutzungsplanung, Straßen- und Liegenschaftsmanagement, Stadtplanung, Statistik, Demographie, Kommunikation, Erholung, Transportwesen, Logistik, Tourismus etc.

ALKIS stellt somit die zeitgemäße Realisierung des Mehrzweckkatasters als Lieferant von Geobasisdaten dar. In Nordrhein-Westfalen wird ALKIS bei den Kreisen und kreisfreien Städten als Kernbaustein eines kommunalen Geoinformationssystem eingeführt (Geobasis.NRW).

Aufgrund der Möglichkeit, die ALKIS-Daten in einem Standardbrowser zu visualisieren, sind alle Anwendungen auch als Web Services denkbar, wodurch ALKIS auch einen wesentlichen Beitrag zur Realisierung der Geodateninfrastruktur in NRW darstellt.

(Zitat Ende)

ALKIS soll ab 2005 implementiert werden. Umfassende technische Informationen finden sich in der aktuellen Version der „Dokumentation zur Modellierung der Geoinformationen des amtlichen Vermessungswesens (GeoInfoDok)“ (derzeit Version 4.0 vom 31.01.2005).

Wichtig ist noch die Feststellung, dass in den genannten Standardisierungen nicht die Implementierungen festgeschrieben werden.

Ähnliche Initiativen sind auch aus anderen Ländern, insbesondere den USA, bekannt (Spatial Data Transfer Specification - SDTS, Defence Mapping Agency - digital cartographic standard DIGEST, USGS DEM - digital elevation model - Höhendaten auf einem Gitter, ...). Auch innerhalb internationaler Organisationen (NATO: DIGEST) erfolgen Standardisierungen. Stellvertretend für die Industrieentwicklungen seien ohne Wertung der Bedeutung genannt: SIF (Standard Interchange Format (Intergraph)), DXF (Digital eXchange Format (Autodesk, Inc. für AutoCAD entwickelt)).

1.4 Testfragen

- Was ist ein GIS, was sind seine Hauptbestandteile
- Erklären Sie: Datenbank, Informationssystem, GIS
- Was folgt aus der langen Lebensdauer der Daten?
- Was sind primäre und sekundäre Metriken? Nennen Sie Beispiele.
- Wie ist der Dimensionsbegriff in einem GIS zu verstehen?
- Was ist der Nutzung vorverarbeiteter Daten zu beachten?
- Welche besonderen Probleme bestehen bei der Gewinnung von Daten aus Karten?
- Wie kann die Gewinnung von Daten aus Bildmaterial erfolgen?
- Erklären Sie die Notwendigkeit der Standardisierung. Welche Teilbereiche eines GIS können Gegenstand der Standardisierung sein?

- Was ist das AAA-Projekt?
- Charakterisieren Sie den ATKIS-Objektartenkatalog?
Auf welchen geometrischen Grundobjekten baut er auf?
- Berichten Sie über Standardisierungsansätze in Deutschland.