

Geo-Informationssysteme: Grundlagen – Konzepte – Trends¹

Prof. Dr. Kurt Brassel
Geographisches Institut
der Universität Zürich
Winterthurerstrasse 190
CH-8057 Zürich

1. Grundlagen

Geographische Informationsverarbeitung
Zielsetzungen des GIS-Einsatzes
Definitionen
Anwendungsbereiche

2. Konzepte

Systemkomponenten
Systemtypen
Grundkonzepte
Systemfunktionen

3. Trends

Entwicklungsphasen
Entwicklungsstand und Forschungsziele
Technologische Trends
Gesellschaftliche Fragen und Markttrends
Ziele

¹ Vortrag gehalten im Rahmen der 43. Photogrammetrischen Woche, Stuttgart, 11. Sept 1991

Geographische Informationsverarbeitung

Geographische Daten

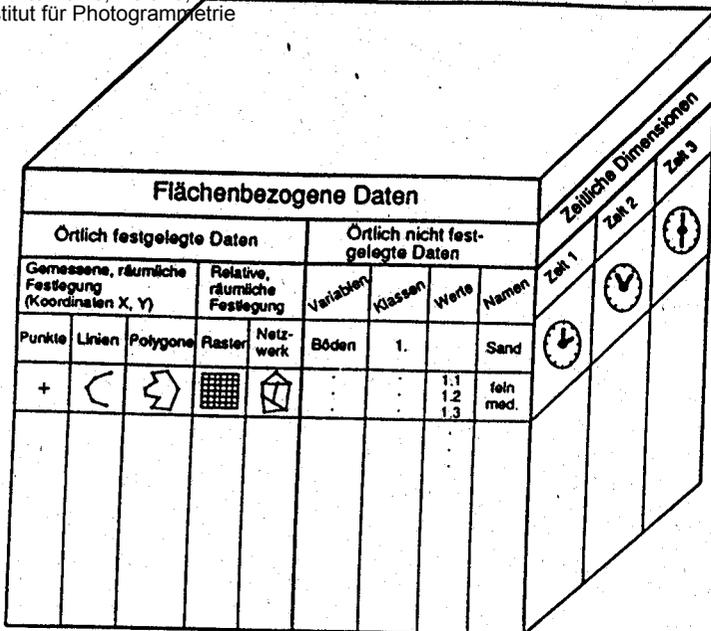
- Basiseinheiten
 - Objekte: Unteilbare Einheiten, für die Information vorliegt in Form von sog. Attributen: Gemeinden, Einwohner, Landformen, Strassensegmente
 - Objekttypen: Punkte, Linien, Flächen, Volumen
 - Objektklasse: Menge von Objekten mit der gleichen topologischen Ausprägung (punkt, linien-, flächenförmig) und mit der gleichen Menge von Attributen (Siedlungen, Flüsse, Bahnhöfe).
 - Attribute: Ausprägung der Objekte in sog. Merkmalsdimensionen: Mittleres Alter der Bewohner, Anzahl Kinder pro Familie, mittl. Höhenlage
 - Messskalen der Attribute: binär/nominal, ordinal, Intervall, Verhältnis-, Ratioskalen
- Beschreibung
 - Geographische Identifikatoren: Lage, Geometrie
 - Beschreibende Identifikatoren: Attribute
 - Relationen: Topologie, Strukturmerkmale

Geographische Informationsverarbeitungstechniken

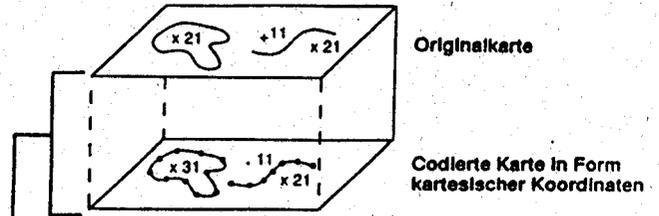
- Beschaffung und Digitalisierung raumbezogener Daten: Datenquellen, Erfassungstechniken
- Speicherung und Extraktion von Raumdaten: Datentypen, Speicherstrategien und Abfragesprachen
- Manipulation und Analyse: Manipulation von Geometrie und Attributen, deterministische quantitative Methoden, mono- und multivariate statistische Verfahren, Modellierung, Simulation
- Computergestützte Kartenerstellung und Computergraphik: Typen von graphischen Darstellungen, Umwandlung von Daten in graphische Symbole

Quantitative Methoden der Raumanalyse

- Masse und Analyse der Raumgeometrie: Raumobjekte als Punkte, Linien, Flächen, Oberflächen und Körper; Analyse der Form von Objekten; Massstab; Distanz (metrisch und nicht-metrisch), Analyse räumlicher Muster
- Analyse von Oberflächen: Reale und statistische Oberflächen, quantitative Masse zur Beschreibung von Oberflächen, Interpolation, Glätten, kürzeste Wege auf Oberflächen
- Räumliche Hierarchien und räumliche Aggregation: Hierarchische Punkt-, Linien- und Flächenstrukturen, zentrale Orte, räumliche Ordnung; Aggregation, Disaggregation und räumliche Unsicherheit
- Räumliche Gliederung: Regionalisierung und Typisierung, zentrale Orte und Hinterland
- Graphentheorie und Netzanalyse Netze als Graphen, kürzeste Wege, Konnektivität, Graphen und Matrizen
- Standorttheorie, räuml. Interaktion, Migration und Diffusion: Lage / Standort, räuml. Konkurrenz, Potential; Migrationsmodelle, regionale Ungleichheiten, Gravitationsmodelle, Transportkosten, Barrieren, Informationsfelder, Asymmetrien; Flussmodellierung
- Standortzuordnung, räumliches Verhalten: Verteilung von Angebot und Nachfrage, Transportproblem, Input-Output-Modelle, Interpretation von Landnutzungsmustern, Standortwahl, Raumdeterminismus, Raumperzeption, Informationsfelder
- Analytische kartographische Modellierung: Verzerrungen und Kartentransformationen, Kartogramme, Kartierung von Zeit- und Kostendistanzen, Geometrie mentaler Karten
- Analyse von Raum-Zeit-Serien: Dynamische Aspekte der Raumstruktur, räumliche und zeitliche Trends, räumliche Voraussagemodelle, räumliche Autokorrelation

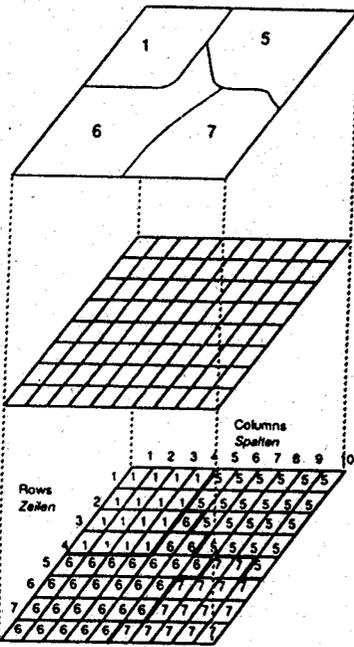


Source/Quelle: DANGERMOND, 1982



	Merkmals-Nummer	Örtliche Festlegung
Punkt	11	X, Y (Einzelner Punkt)
Linie	21	$X_1, X_1, X_1, X_2, \dots, X_n, X_n$ (Strang)
Polygon	31	$X_1, X_1, X_2, X_2, \dots, X_n, X_n$ (Geschlossene Schleife)

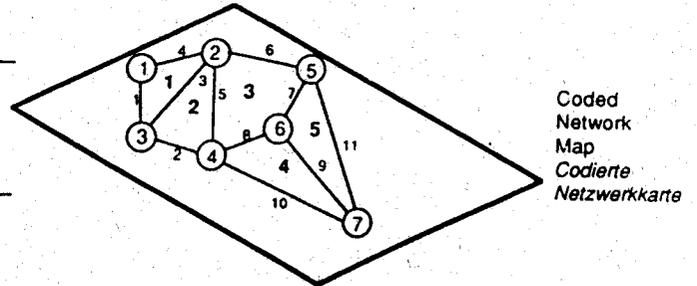
Quelle: DANGERMOND 1981, verändert



Original Map Originalkarte

Grid Overlay Rasterüberlagerung

Grid Cell Map Rasterkarte



Link Verbindung #	Right Polygon Rechtes Polygon #	Left Polygon Linkes Polygon #	Node Knoten 1	Node Knoten 2
1	1	0	3	1
2	2	0	4	3
3	2	1	3	2
4	1	0	1	2
5	3	2	4	2
6	3	0	2	5
7	3	5	5	6
8	4	3	4	6
9	5	4	7	6
10	4	0	7	4
11	5	0	5	7

Topologically Coded Network and Polygon File
 Topologisches codiertes Netzwerk und Polygondatensatz

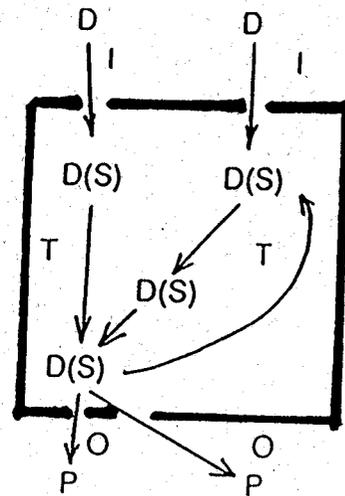
Node Knoten #	X Co-ordinate X-Koordinaten	Y Co-ordinate Y-Koordinaten
1	23	8
2	17	17
3	29	15
4	26	21
5	8	26
6	22	30
7	24	38

Row Zeile	Column Spalte	Value Ausprägung
1	1	1
1	2	1
1	3	1
1	4	1
1	5	5
1	6	5
.	.	.
.	.	.
.	.	.
.	.	.

Grid Cell File Rasterdatensatz

Daten (D)
Strukturen (S)
Funktionen/Transformationen (T)
Produkte (P)

Typen von Transformationen:
Eingabe/Input (I)
Manipulation (M)
Analyse (A)
Ausgabe (O)



Definitionen

System

Verbundene Einheiten und Aktivitäten, die für gemeinsame Zielsetzungen eingesetzt werden.

Informationssystem

Menge von Prozessen, die auf Rohdaten angewendet werden, um Information als Entscheidungshilfen zu gewinnen:

- Kette von Prozessen von der Beobachtung und Datenerhebung bis zur Analyse und Ausgabe
- das IS muss alle diese Funktionen unterstützen.

Geographisches Informationssystem (GIS)

Ein Informationssystem, das auf geographische Daten angewendet wird: Ein System von Hardware, Software und Prozeduren, das die Datenerfassung, Datenverwaltung, Manipulation, Analyse, Modellierung und Darstellung raumkodierter Daten unterstützt und zur Lösung komplexer Planungs- und Verwaltungsaufgaben dient (NCGIA, 1990).

Informationssysteme, die räumliche Belange und Phänomene im Maßstabbereich von der gesamten Erdoberfläche bis zu Landparzellen unterstützen, wobei den raum-zeitlichen Dimensionen spezielle Bedeutung zukommt. Es besteht eine Vielzahl von Typen von GIS, die oft andere Namen tragen (Carter 1988).

Land-Informationssystem (LIS)

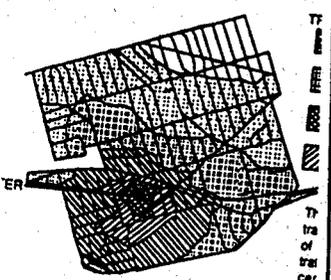
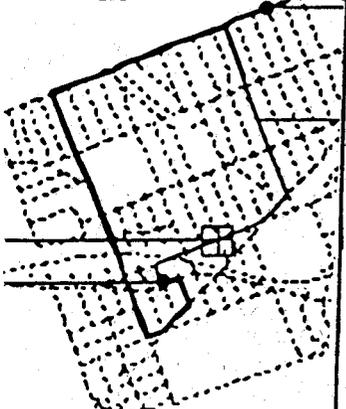
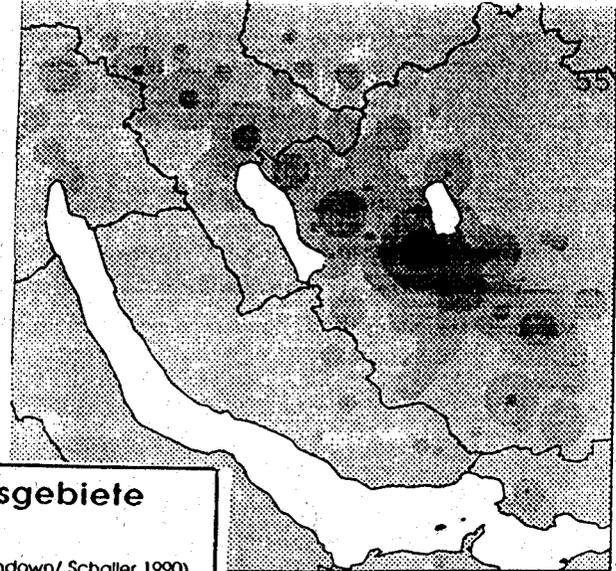
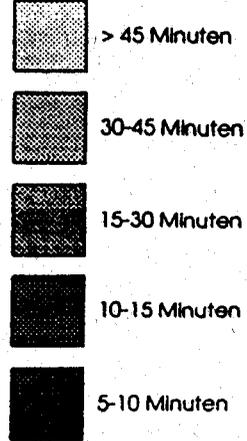
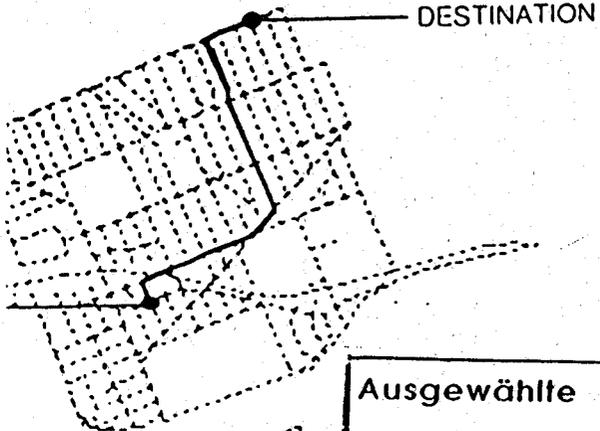
Summe der Infrastruktur sowie aller bildlichen und Text-Dokumentation, die relevant ist für die Analyse, die Etablierung, die Operation und Laufendhaltung von Ressourcen, Einrichtungen und/oder Aktivitäten in einem geographischen Raum (Klein 1988).

Kartiersystem (AM)

Verwendung von Computerressourcen (Hardware, Software, Daten), um kartographische Daten aufzusammeln, zu editieren, zu gestalten und visuell auszugeben (Klein 1988).

Zeichensystem (CADD)

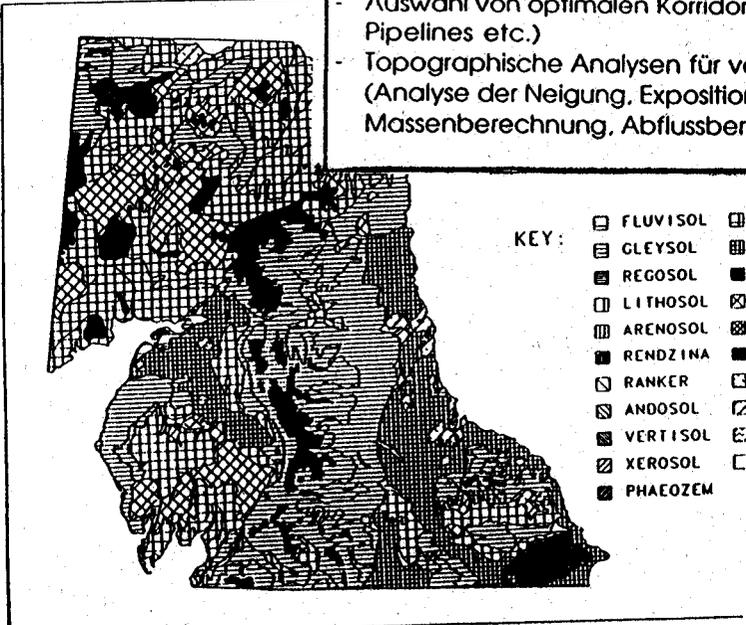
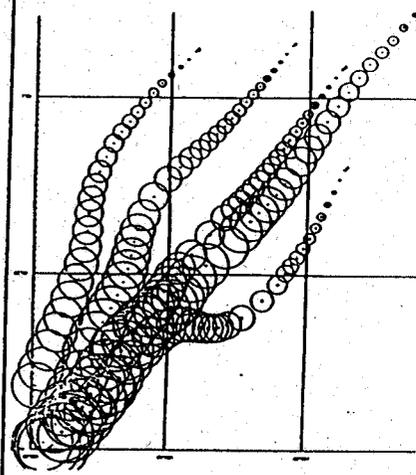
Interaktion mit visuellen Bildern an Bildschirmgeräten, um Zeichnungen zu ändern oder zu manipulieren. Die Integrität des Systems erlaubt es, Ingenieur- und Vermessungsdokumente zu erstellen (Klein 1988).



Ausgewählte GIS-Anwendungsgebiete

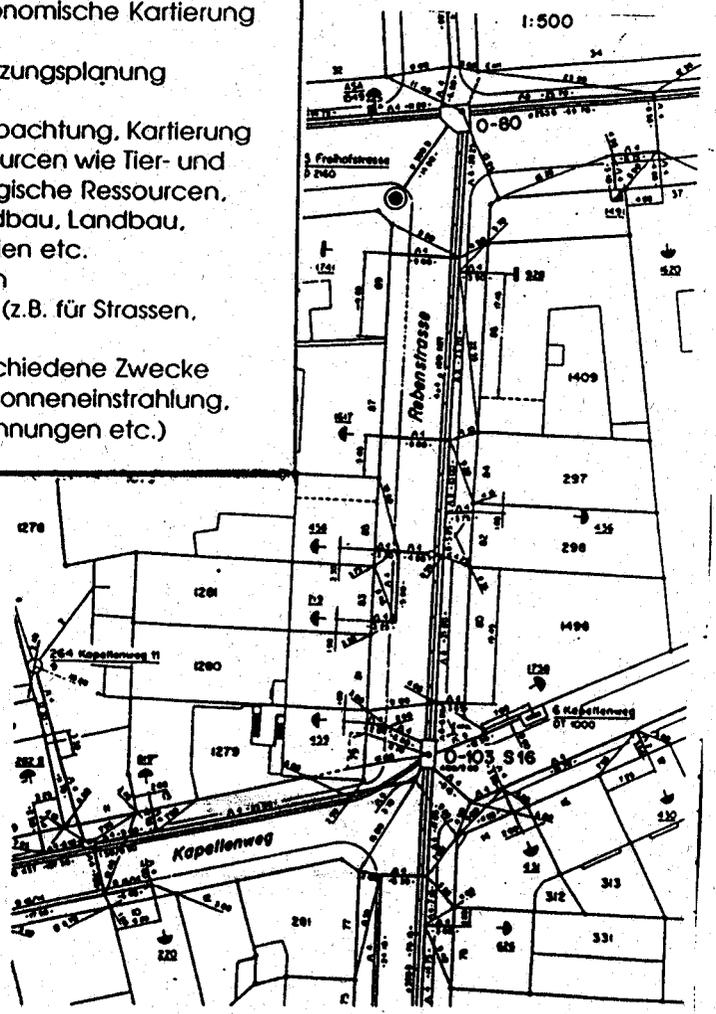
(nach Ashdown/ Schaller 1990)

- Städteplanung und Regionalplanung
- Vermessungswesen, Katasterwesen
- Kartographie
- Ingenieur-Konstruktion und Gestaltung (Massenberechnungen, Strassenplanungen, Grundstückseinteilung)
- Strassenbau
- Energieversorgung (Elektrizität, Gas etc.)
- Ver- und Entsorgungssysteme (Wasser, Entwässerung)
- Automatisierte Luftbildmessung und Erfassung
- Geodätische Kartierungen
- Geologische und Bodenkartierungen
- Ereigniserfassung und -überwachung (Unfälle, Kriminalität, Feuer, Störungen)
- Überwachung von Grund- und Oberflächenwasserqualität
- Bevölkerungsstatistik und sozioökonomische Kartierung
- Raumbezogene Maktanalysen
- Landnutzungsplanung, Flächennutzungsplanung
- Umweltverträglichkeitsprüfungen
- Umweltforschung und Umweltbeobachtung, Kartierung und Analyse von natürlichen Ressourcen wie Tier- und Pflanzenwelt, Bodengüte, hydrologische Ressourcen, Luftqualität, Klimaparameter, Waldbau, Landbau, ökologische und biologische Studien etc.
- Optimierung von Verkehrssystemen
- Auswahl von optimalen Korridoren (z.B. für Strassen, Pipelines etc.)
- Topographische Analysen für verschiedene Zwecke (Analyse der Neigung, Exposition, Sonneneinstrahlung, Massenberechnung, Abflussberechnungen etc.)



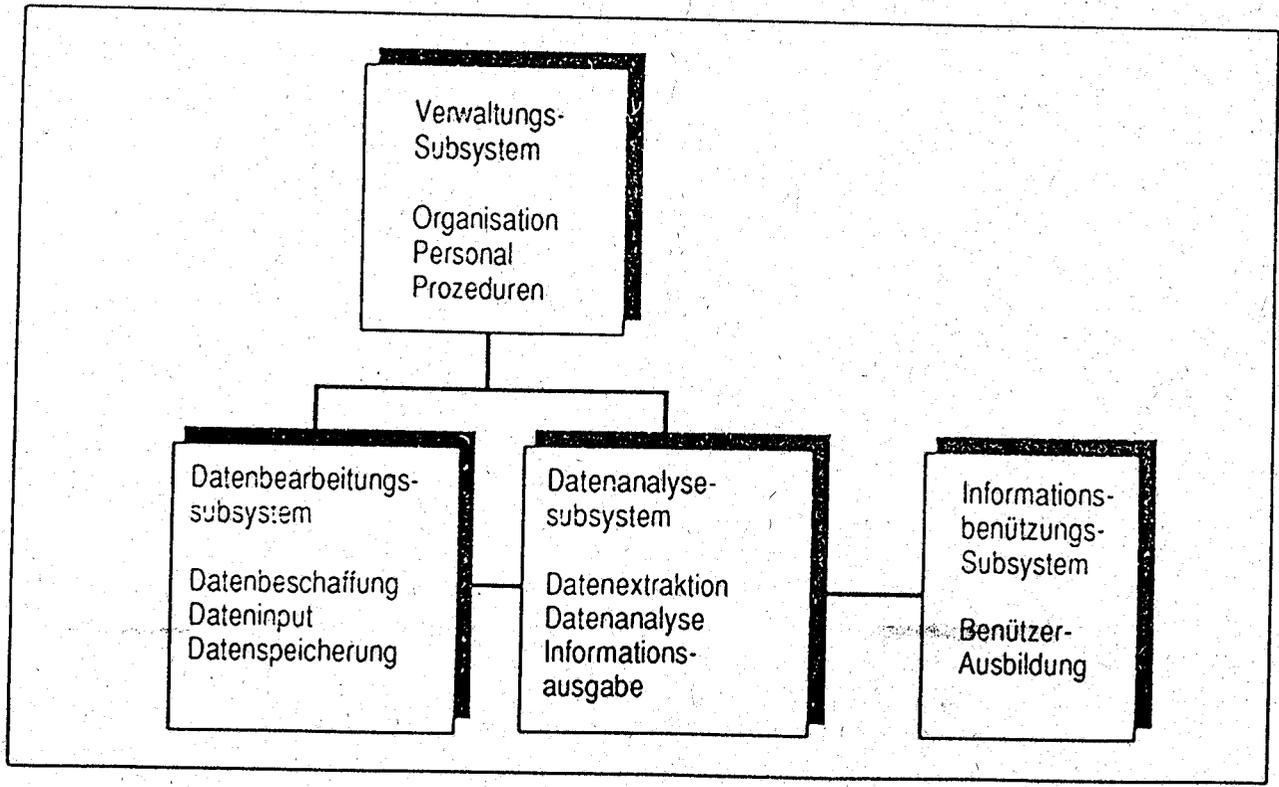
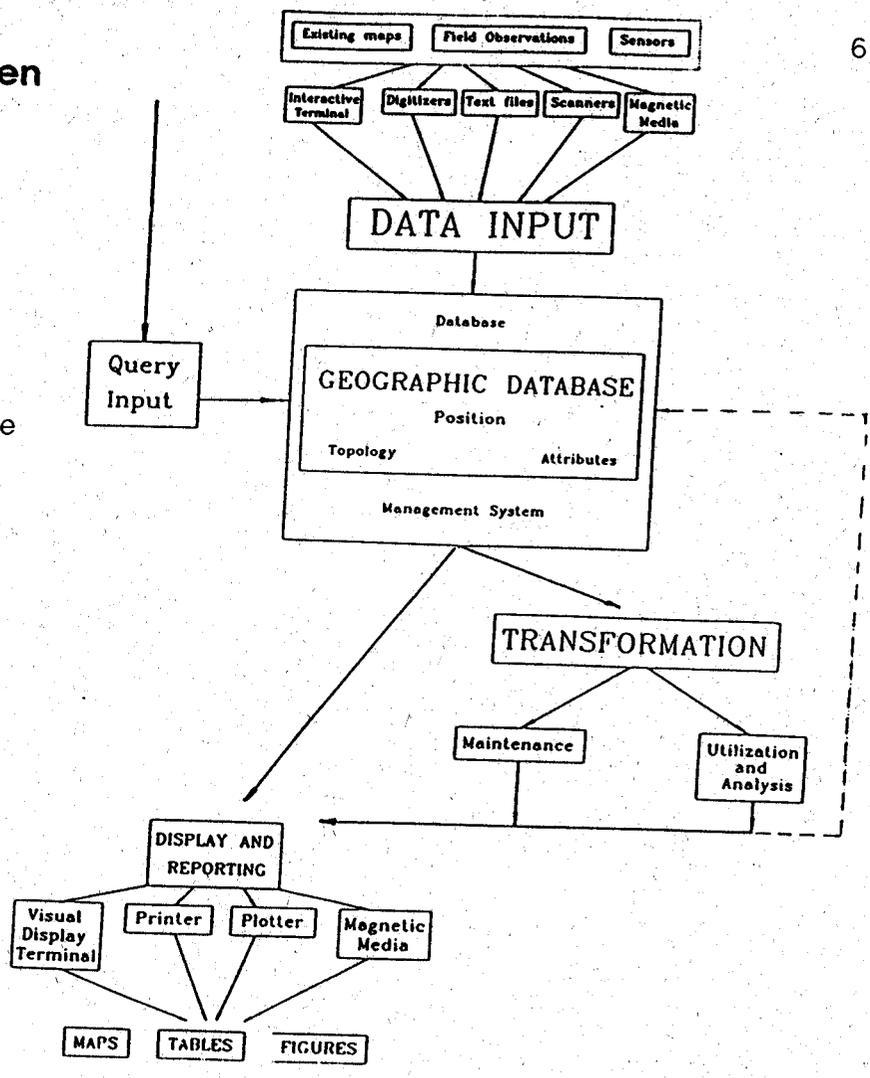
KEY:

FLUVISOL	GLEYSOL
REGOSOL	LITHOSOL
ARENOSOL	RENDZINA
RANKER	ANDOSOL
VERTISOL	XEROSOL
PHAEZEM	



Systemkomponenten

- Hardware
 - Eingabe
 - Speicherung
 - Verarbeitung
 - Ausgabe
 - Vernetzung
- Software
 - Systemsoftware
 - GIS-Anwendungssoftware
- Daten
 - Basisdaten
 - Anwenderdaten
- Knowhow
 - GIS-Kompetenz
 - Anwenderkompetenz
- Organisation
 - Ressourcen
 - Prozeduren
 - Rechtsgrundlagen



Komponenten eines Geographischen Informationssystems (BRASSEL 1983, S. 33)

Systematischer Überblick über verschiedene Typen von Informationssystemen

Informationssysteme

- Installation (Hardware, Software, Datenbasen) für computergestützte Datenverarbeitung
- Beispiele: Flug-Reservationsysteme, Management-Informationssysteme, Bibliotheks-Systeme, räumliche Informationssysteme

Räumliche Informationssysteme

- Unterstützen die Verarbeitung von im Raum definierten Objekten, die mit Hilfe von geometrischen und/oder topologischen Identifikatoren definiert sind (Raumkoordinaten, Nachbarschaftbeziehungen)
- Datenstrukturen für räumliche Objekte
- Funktionalität für die Manipulation räumlicher Objekte: Input, Speicherung, Extraktion, Analyse, Darstellung
- Beispiele: Systeme for CAD/CAM/CIM, molekulare Modellierung, GIS

Geographische Informationssysteme

- Räumliche Informationsverarbeitung in in der "geographischen Domäne"
- Objekte der Erdoberfläche (bzw. eines Planeten)
 - räumliche Identifikation in 2 bzw. 2.5 Dimensionen
 - Erfassung in Informationsschichten
 - Reale Objekte und/oder virtuelle Konstrukte
- explizite Codierung von Objekten (Vektor) oder implizite Codierung (Tesselationen, Raster)
- Funktionalität zur Manipulation innerhalb von/zwischen Informationsschichten
- Breite Skala von Massstäben/ räuml. Auflösung
- Planungs-, Überwachungs- und Verwaltungswerkzeuge
- Charakteristiken
 - grosse Zahl von räumlichen Objekten
 - Vielzahl von Typen von Objekten (punktförmig, linear, flächenhaft, Volumen, Aggregate)
 - komplexe Objekte (grosse Datenmengen)
- Beispiele: Ereignisüberwachungssysteme, Verkehrskontrollsysteme, meteorologische Informationssysteme, Landnutzungskontrollsystem, LIS

Land-Informationssysteme

- Räumliche Informationsverarbeitung zur Unterstützung der Landkontrolle und Landverwaltung
 - reale Objekte der Erdoberfläche
 - Datenerfassung in hoher räumlicher Auflösung (wahre Koordinaten, grossmassstäbig)
 - Arbeitsmittel für die Verwaltung von Infrastrukturen
- Charakteristiken:
 - hohe Anforderungen bezüglich Konsistenz, Genauigkeit und Nachführung
 - explizite Objektdarstellung (Vektormodus)
- Beispiele: Katasterverwaltung, topographische Informationssysteme, Werkkataster.

Klassifikation von GIS

nach Systemfunktionen

- Datenbeschaffung und Editieren
- Speicherung und Verwaltung
- Analysensysteme, Entscheidungsunterstützungssysteme
- Datenextraktion und (öffentliche) Abfrage
- Kartiersysteme

nach Anwendungsgebieten (Inhalte der Dateien)

- | | |
|---|--|
| - Vermessung, Kataster | Grundstückgrenzen etc. |
| - Eigentumsverwaltung, Steuer-
verwaltung | Eigentumsgrenzen,
Grundr. von Häusern |
| - Verwaltung und Unterhalt von
öffentlichen Anlagen | Werkkataster, Lei-
tungskataster |
| - Landnutzungsplanung,
Zonierung | Bodenbedeckung,
Nutzungszonen |
| - Ereignisüberwachung
Katastrophensicherung | Polizei-, Feuerwehrein-
richtungen |
| - Verwaltung natürlicher
Ressourcen | Geophysische, vege-
tations-, Wald-, Wild-,
Bodendaten, Hydrologie |
| - Verkehrsplanung, Verkehrs-
überwachung | Verkehrsnetz |
| - Bevölkerungsstatistik, soziale
und ökonomische Verwaltg. | Bevölkerung, Wohnen,
Gesundheit, Handel, etc. |

nach Datentypen und Datenquellen

- | | |
|--|-----------------------|
| - Vermessungsdaten | kurzlebig - langlebig |
| - Karteninformation in versch. Masstabsbereichen | |
| - Luftbilder und Satellitendaten | |
| - Daten aus der Umweltbeobachtung (Messungen) | |
| - Statistiken, sozioökonomische Daten | |
| - Modellierresultate, bibliographische Daten | |

nach der Systemarchitektur und Organisation der Raumdaten

- | | |
|--------------------------------------|---|
| - Informationsebenen - Einzelobjekte | - Rastersysteme: einfach - hierarchisch |
| - einfache Kartenmodelle | - Vektorsysteme: einfach - topologisch |
| - zusammengesetzte Kartenmodelle | - Hybride Systeme |
| - relationale Kartenmodelle | |

nach der Systemkapazität

- Grossrechner - Minicomputer - Workstation - Mikrocomputer

nach der organisatorischen Systemstruktur

- (portable) Softwarepakete
- Turnkeysysteme (Standardhardware/Spezialhardware)
- Institutionelle Systeme / Dienstleistungsbetriebe: Hardware + Software, Datenbasen, Verarbeitungsprozeduren, personeller Support

Grundkonzepte

Objekte und Operationen (nach Burrough 1991)

- Objekte: Punkte, Linien, Flächen, Körper. einfache (intern homogen) -- komplexe Objekte (intern inhomogen) - Felder: kontinuierliche/diskrete Funktionen über einen (Teil-)Raum
- Alle Objekte haben Raumbezug, Attribute und Relationen
- Objekte randscharf oder unscharf; unscharfe Objekte enthalten Unsicherheitsattribute
- Objekte und Attribute können klassiert werden
- Die Objekte, Felder Attribute und Relationen können verschiedenen Operationen (logische, arithmetische, geometrische etc.) unterworfen werden.
Spezielle GIS-Operationen berücksichtigen Distanz, Richtung, Konnektivität (Topologie), Nachbarschaft, Proximität, Überlagerung, Gruppenzugehörigkeit, Einschluss von anderen Objekten.
Intelligente GIS berücksichtigen unscharfe Daten in diesen Operationen
- Durch Überlagerung können neue Objekte kreiert und gespeichert werden; aus einfachen Objekten können komplexe aufgebaut werden.
- Durch verschiedene Operationen können aus Attributen, Relationen und geometrischen Eigenschaften neue Attribute berechnet werden.
- Objekte mit speziellen Attributen können speziellen Informationsebenen (Layer) zugewiesen werden. An Informationsebenen können wiederum verschiedene Operationen ausgeführt werden.

Beispiele typischer Problemstellungen in einem GIS

- Wo befindet sich Objekt A?
- Wo liegt A in Relation zu B?
- Wie häufig ist A in der Umgebung d von B anzutreffen?
- Welchen Wert hat die Funktion Z an der Stelle x,y?
- Wie gross ist B (Fläche, Umfang, Inhalt)?
- Stelle das Resultat der Überlagerung (Vereinigung, Schnittmenge) verschiedener Typen von Raumdaten als Karte dar.
- Welches ist der kürzeste/kostengünstigste Weg von X nach Y innerhalb eines Netzes N?
- Wieviele Personen/Berufstätige können die Lokalität B in t Minuten erreichen?
- Was befindet sich an/in der Umgebung U der Lokalität X?
- Wo befinden sich die Objekte mit einer bestimmten Kombination von Attributen?
- Was für Objekte befinden sich in der Umgebung überlagerter Objekte mit bestimmten Attributen?
- Weise Objekten mit bestimmten Attributkombinationen neuen Klassen zu.
- Basierend auf einer digitalen Datenbank soll der Prozess P über die Zeit T für ein Szenario S simuliert werden.

Rasterstrukturen versus Vektorstrukturen (nach Goodchild und Kemp, 1990)

- Raster-GIS
 - Datenmodell: Ebene in Rasterzellen aufgeteilt, je ein Wert pro Zelle, Anordnung in Zeilen und Kolonnen, mehrere Informationsebenen
 - Aufbau des Rasters: Zellenweise Eingabe, Lauflängencodierung, Fernerkundungsdaten, Interpolation von Höhenwerten, Rasterisierung von Vektordaten; Quadratraster, Hexagonalraster, Triangularraster
 - Werte: Ganzzahlig, dezimal, alphanumerisch; nominal, ordinal, Intervall/ Ratio
 - Informationsebenen (Layers): nur ein Objekt pro Zelle und Layer festgehalten
 - Auflösung (Resolution): minimale lineare Dimension
 - Orientierung: Winkel zu den Kardinalrichtungen des Koordinatensystems (in der Regel Nord)

- Zonen, Linien, (Punkte): Benachbarte Zellen gleicher Werte
- Klasse: Menge von Zonen, Linien, Punkten gleicher Werte
- Lokalisierung: Durch Standort des Nullpunktes, Richtung, Resolution und Zeile/Kolonne.

- Vektor-GIS
 - Elemente: Punkte, Knoten, Kanten, Ketten, Polygone etc.
 - Speicherung: Polygon-Speicherung oder Bogen/Grenzketten-Speicherung
 - Aufbau der Vektor-Datei
 - Digitalisieren, scannen
 - Aufbau der Topologie, Editieren mit Toleranzen zur Elimination von Overshoots/Undershoots, Kartenrandanpassung
 - Eingabe der Attribute für 0-Zellen, 1-Zellen und 2-Zellen (Objekten zugeordnet)

- Vor- und Nachteile
 - Gesichtspunkte: Präzision, Geschwindigkeit, Speicherbedarf, Charakter der Phänomene
 - Raster einfach, rasch für Überlagerungen, Fernerkundungsdaten; Treppenstufen, Ungenauigkeiten, ev. auch zu viel Detail
 - Vektor für die Archivierung von Daten, die nach Phänomenen strukturiert sind (Bodentypen, Landnutzung etc.), für Netzdaten (Telephon, Verkehr) sowie für Hochqualitäts- Liniengraphiken
 - Raster für schnelle und billige Kartenüberlagerung, Raumanalyse und Kartenvergleich, für Simulation und Modellierung mit Oberflächen
 - Kombination Raster/Vektor für Liniendarstellung und Flächenfüllung: Linien als Vektoren speichern, Darstellung in Rastermedien mit kompakter Rasterspeicherung (Run length, Quadtree)
 - DTM: kompakte Vektoren oder Rastermatrizen
 - Für Manipulationen/Analysen: Umwandlung in geeignete Form

Objekte vs. Datenebenen (layers)

- Zielsetzung einer Datenbasis: Darstellung der Realität; Raster-Vektor Debatte ist nur ein Spezialfall einer breiteren Debatte: Objekte <-> Datenebenen
- Objekte/Datenebenen enthalten Punkte/Linien/Flächen; Inhalte der Datenbasis stellen aber reale Welt unterschiedlich dar
- Datenebenen-Modell:
 - Welt kontinuierlich dargestellt, eine Ebene pro Variable, ein Wert pro Punkt, Abfrage des Attributes eines Punktes; Grundlage: definiert in einem Koordinatensystem und einer Kartenprojektion
 - Datenmodelle: Raster, Polygonmosaik, TIN; alle beschreiben Objekte der Datenebene, nicht Objekte der Realität
- Objekt-Modell:
 - Welt als leerer Raum mit Objekten unterschiedlichen Typs; Aussagen über die Welt beziehen sich auf Objekte
 - Objekte als geographische Phänomene; mehrere Objekte an einer Lokalität möglich, andererseits Lokalitäten ohne Objekte
 - Objekte können unterschiedlich dargestellt werden in der Datenbasis: Punkte, Flächen, Linien, Volumen
 - Objekte können mit Zeitattributen versehen sein: Bewegungen im Raum; ev. schlecht definierte Objekte: Wolken
 - Objekt-orientierte Datenverarbeitung: Verknüpfung von Objekten und damit verbundene Operationen. Konzepte: Identität, Hierarchie, Vererbung, Einbindung.
- Argumente
 - Objekte müssen bekannt und definierbar sein - bei Informationsebenen nicht nötig
 - Umweltdaten (Meteorologie, Geophysik, Vegetation) oft in Informationsebenen definiert; Informationsfelder; Fernerkundungsdaten sind auch Informationsebenen
 - Welt als Kontinuum in Informationsebenen darstellbar: Gradienten, Übergangszonen, Abhänge, Unsicherheiten
 - Alltag: Umgang mit Objekten <-> Wissenschaft: oft Umgang mit Feldern

- Anwendungsbereiche:

- Ebenen: Verwaltung von Umweltressourcen: wenige, aber überall definierte Variablen, zwar nicht immer leicht messbar; Konzepte ändern nicht radikal in unterschiedlichen Maßstabsbereichen; Erfassung von Individuen schwierig (Bewegung von Wild etc.)
- Objekte: Urbane Ressourcen (Werkkataster): Viele Typen von Objekten, die je den Raum nicht füllen; Objekte gut definiert, mehrere Objekte an einer Lokalität möglich
- Gemischt: Verkehr, Hydrologie: Verkehrswege, Flüsse gut definiert; oft werden aber Felder mitverwendet (Puffer, Lärmverteilung etc.)

Systemarchitekturen (nach Bracken and Webster, 1989)

Einfaches Kartenmodell

- Vektordaten, nur eine Informationsebene + Attributtabelle
- Operationen an einer einzigen Informationsebene, kein Aufteilen oder Überlagern
- elementare Befehlssprache zur Steuerung des Prozessablaufs, Definition von Parametern; Erstellen von Befehls- und Prozessdateien, Einhalten der Reihenfolge des Prozessablaufs
- Beispiele: in der Regel Kartiersysteme ohne Analysepotential, Systeme auf Mikrocomputern, 3D-Systeme: GIMMS, SYMAP

Mehrebenenmodell

- Manipulationen an mehreren Informationsebenen mit je einer Attributtabelle
- Raster- oder Vektorsysteme
- Resultatdateien als neue Informationsebenen, bei Vektorsystemen ev. Konstruktion von Informationsebenen in neuer Datenstruktur
- Konstruktion von kombinierten Informationsebenen mit Tabellen kombinierter Attribute; werden als "permanente" Dateien abgelegt
- Vielfältige Rastermanipulationen zur Schaffung neuer Ebenen
- Befehlssprache auf hohem Niveau
- Definiert beteiligte Informationsebenen und entsprechenden Prozess
- Beispiele: Raster: Grid, Idrisi, MAP; Quadtree: SPANS; Vektor: Odyssee

Relationales Kartenmodell

- Bearbeitung mehrerer Informationsebenen ad hoc, ohne dass kombinierte Ebenen permanent gespeichert werden
- Zugriff zu den Relationen von Attributen über mehrere Ebenen, Zugriff zu Objekten mit bestimmten Attributkombinationen
- Verwendung von relationalen und semantischen Abfragesprachen, problemorientierte statt prozedurale Formulierungen
- Datenmodell: zwei Typen: duale Datenbasis -- einheitliche Datenbasis
- duale Datenbasis
 - separate Verwaltung von Geometrie/Topologie und Attributen
 - für Attributverwaltung werden Standard-DBMS verwendet
 - Geometrie/Topologie mit File-Techniken: Gesamtüberlagerung (viele homogene Kleinpolygone) als Index, aber nur ad hoc aufgebaut; Zeiger zu Attributtabelle. Beispiel: ARC/INFO
 - Geometrie/Topologie mit objektorientierten DBMS: Datenbank logisch organisiert in Objekte hoher Ordnung (Seen, Strassen, Wälder) mit voller Topologie; physisch hierarchisch untergliedert in Elemente niedriger Ordnung (Bsp. PANDA, Kork GIS)
- einheitliche Datenbasis
 - alle Informationen in einem einzigen DBMS (Sicherheit, Integrität, einheitliches Protokoll, einheitliche Zugriffsmechanismen, Abfragesprachen)
 - Versuche mit relationalen DBMS, Effizienzprobleme, ev. spezielle Speicherstrategien. Beispiel: System 9
 - Objektorientierte DBMS: Einheiten (topogr + themat. Daten in Hierarchien) und zugeordnete Funktionen (Attribute, Operationen) als Objekte; komplexe Relationen zwischen Einheiten möglich.

Funktionen von Geographischen Informationssystemen

(nach Goodchild M.: Workshop on Spatial Analysis Using GIS, Int. Symposium on Spatial Data Handling, Zürich, 23-27. Juli 1990, S. 15 - 20)

1. Eingabe von Raumdaten

Digitalisieren; geometrisches Konstruieren; Scannen und Vektorisieren
Kartenrandanpassung, Zusammenfügen von Linien und Polygonen (edge matching)
Erstellen der Topologie (Polygonization)
Die Geometrie (Polygone, Linien, Punkte) mit Attributen versehen (labelling)
Darstellen und Editieren von Eingabedaten, in Verbindung mit Digitalisierungsfunktionen
Nachführen der Daten: ändern, eliminieren, addieren (updating)
Automatisches Entfernen von kleinsten Flächen, die beim Digitalisieren ähnlicher Flächennetze entstehen (sliver polygon elimination)

2. Datenbearbeitungsfunktionen

2.1 Generierungsfunktionen

Neue Punkte erzeugen und in die Datenbank integrieren
Linien erzeugen und integrieren
Polygone erzeugen und integrieren
Kreise erzeugen, definiert durch Zentrumspunkt und Radius
Rasternetz erstellen, definiert durch Ursprungspunkt, Zellengrösse und Orientierung
Erstellen von Geogr. Netzen (Längen-/Breitenkreise) in gewünschten Projektionen
Berechnen von Korridoren gegebener Breite um Punkte, Linien oder Flächen

2.2 Bearbeitung der Datenstruktur

Umformatieren digitaler Information aus anderen Systemen für die Eingabe
Umformatieren für die Ausgabe auf andere Systeme
Datenbank erstellen und verwalten: Die Daten werden typischerweise von Kartenblättern digitalisiert, nach der Kartenrandanpassung blattschnittfrei gespeichert und evtl. für die interne Ablage räumlich unterteilt (tiling). Ein Kartenblattverzeichnis kann erstellt werden.
Raster-/Vektor-Konversion
Beschreibung linearer Elemente mittels Startpunkt, Winkel und Distanzen

2.3 Geometrische Funktionen

Zentroid-Berechnung und fortlaufende Numerierung
Masstabsänderungen mit allfällig notwendigen Generalisierungsschritten
Einpassen einer Karte auf eine andere mittels gemeinsam bekannter Punkte (rubber sheet stretching)
Entfernen syst. Verzerrungen an Daten unterschiedlicher Herkunft (distortion elimination)
Änderung der Kartenprojektion
Unterteilung von Flächen gemäss vorgegebenen Regeln (Teilgebiete, z.B. Kartenblätter)

2.4 Klassifizierungs- und Generalisierungsfunktionen

Umklassieren von Attributen
Auflösen von Linien zwischen benachbarten Polygonen mit gleichem Attribut und Bildung eines grösseren Polygons (dissolving and merging)
Reduzieren der Anzahl Punkte, die eine Linie definieren (line thinning and weeding)
Automatisches Glätten von Linien (line smoothing)
Generalisieren nach kartographischen Regeln, z.B. Änderung des Objekttyps oder räumliche Verschiebung (complex generalization)

2.5 Datenextraktionsfunktionen

Schnelles Sichten der Daten, inkl. "pan" und "zoom" (browsing)
Erstellen beliebiger Ausschnitte (windowing)
Absuchen der Datei nach Objekten mit bestimmten Attributen (search by attribute)
Absuchen der Datei nach Objekten innerhalb eines bestimmten räumlichen Ausschnitts (search by region)
Ausschliessen von Objekten nach Attribut (suppress)

3. Datenanalysefunktionen

3.1. Zählen und Messen (measurement)

- Zählen von Objekten in einer Klasse bzw. in einem Teilgebiet
- Berechnen der Distanz entlang gerader und gekrümmter Linien
- Bestimmen des Azimuths der Verbindung zwischen zwei Punkten
- Längenberechnung der Grenzlinie eines Polygons
- Flächenberechnung eines Polygons
- Volumenberechnung innerhalb eines DGMs
- Berechnen von Höhendifferenzen in einem DGM

3.2 Funktionen der Raumanalyse

- Überlagern von Polygonen mit Punkten und bestimmen, welche Punkte in welchen Polygonen liegen (point in polygon)
- Überlagern von Polygonen mit Linien und bei Schnittpunkten von Linien mit Polygongrenzen Unterteilen der Linien (line on polygon overlay)
- Überlagern von Polygonen und topologisch korrekte Ueberschneidung (polygon overlay)
- Automatisches Entfernen von kleinsten Flächen nach der Polygon-Überlagerung (sliver polygons)
- Bestimmen der nächsten Nachbarpunkte, -linien, -polygone
- Bestimmen der kürzesten Verbindung oder der Linie minimaler Kosten
- Bestimmen der Flächen, die gemeinsame Grenzlinien oder -punkte besitzen
- Bestimmen der Flächen oder Punkte, die mit andern Flächen oder Punkten durch lineare Elemente verbunden sind (connectivity analysis)

3.3. Statistische Analysefunktionen

- Erstellen von Listen und Verzeichnissen über Objekte und Attribute
- Durchführen arithmetischer, algebraischer und logischer Operationen an Geometrie- und Attributdaten, einzeln und kombiniert
- Durchführung von deskriptiven oder analytischen statistischen Verfahren (stat. Tests)
- Vergleich von Zeitserien-Karten, Bestimmen von Unterschieden, Berechnung eines Veränderungs-Indexes etc. (complex correlation)
- Modellierung einer bestimmten Fargestellung durch Kombination verschiedener Operationen und Dateien mit unterschiedlichen Gewichtung der (weighted modelling)
- Netzwerkanalysen, Simulation von Flüssen

3.4 Geländemodellierung

- Interpolation der Höhe in einem DGM an jedem beliebigen Punkt (spot heights)
- Höhenberechnung entlang Wasserlinien aus einem DGM
- Berechnung von Höhenkurven (contours) oder Isolinien aus einem unregelmässigen Punktnetz
- Berechnung von Höhenkurven mit gegebenen Intervallen aus einem DGM (Raster oder TIN)
- Berechnung von Wasserscheiden und Einzugsgebieten aus einem DGM und zugehörigem Gewässernetz
- Bestimmen der gegenseitigen Sichtbarkeit von Punkten, Teilen von Linien oder Flächen
- Berechnung der sichtbaren Flächen eines DGM von einem gegebenem Betrachtungspunkt aus (viewshed maps)
- Berechnen der Steigung/Neigung entlang Linien
- Berechnen der mittleren Steigung/Neigung von Flächen
- Berechnen der mittleren Orientierung von Flächen
- Berechnen des Endpunktes einer Traverse ausgehend von Startpunkt, Richtung und Distanz

4. Darstellungs- und Ausgabefunktionen

- Darstellen und Editieren einer Karte am Bildschirm
- Erstellen von verschiedenen Symbolen für Punkt-, Linien- und Flächenobjekte (symbolizing)
- "Hard copy"-Ausgabe (Plotting), ev. mit Farbseparierung
- Erstellen graphischer Darstellungen von Attributdaten (Diagramme, Trendplot etc.)
- Erstellen dreidimensionaler Blockdiagramme (perspective views)
- Erstellen von Profilschnitten durch ein DGM entlang vorgegebener Linien
- Graphische Überlagerung mehrerer Karten und Darstellung am Bildschirm
- Perspektivische Simulation einer Kartensituation (scene generation)

GIS-Trends

Entwicklungsphasen (nach McLaughlin, 1990)

- 1960-1975: Pionierphase: erste Automatisierung von Landinformation, Entwicklung von Kartierpaketen sowie urbanen und regionalen Informationssystemen; Arbeit vorwiegend an Forschungslaboratorien und Universitäten.
- 1975-1990: GIS-Implementation bei Amtsstellen (v.a. N-Amerika), Aufbau grösserer Datenbasen, Entwicklung von kommerzieller GIS- und Kartographie-Software
- ab 1990: Entwicklungsschwerpunkte bei der Integration und Vernetzung von administrativen Systemen, Weiterentwicklung der Anwendersoftware zu Entscheidungsunterstützungssystemen, Heranbildung eines kommerziellen GIS-Dienstleistungssektors

Entwicklungsstand und Forschungsziele (nach Goodchild, 1991)

Datenerfassung und Dateneingabe

- Datenerfassungsprozess im Hinblick auf GIS ev. neu gestalten (10-jähr. Zensus, GPS etc.)
- Grosser Fortschritt bei der Datenerfassung und Interpretation gescannter Dokumente
- Probleme bei der Qualität der Ausgangsdokumente (Karten) resultieren weiterhin in breiter manueller Datenerfassung
- Vermeidung von Karten als Zwischenprodukte: Vermessung, Photogrammetrie, Fernerkundung, automatische Feldmessstationen in Meteorologie, Hydrologie; digitale Feldbücher in den Geowissenschaften.

Datenmodellierung, Datenstrukturen

- Neue Erkenntnisse zur Verwendung von Vektor-/Rasterstrukturen, Objekt/Ebenenansätzen, hierarchische Datenmodelle für komplexe Objekte, 3d- und Raum-Zeit-Datenbasen; hybride Datenbasen
- Komplette und rigorose Theorie der Datenmodellierung existiert noch nicht, führt zu pragmatischen Lösungen, Restriktionen und Ineffizienzen
- Einbezug von allgemeinen Datenverwaltungssystemen in GIS und gleichzeitige Verlagerung von Fragestellungen der Datenorganisation in die Computerwissenschaften
- Probleme der Implementation neuer Erkenntnisse in kommerzielle Produkte: Lebenszyklen und Kompatibilität von Systemgenerationen

Algorithmen und Analyseoperationen

- Entwicklung von Grundalgorithmen vermehrt durch Computerwissenschaftler; Professionalisierung der Programmierung
- Bedürfnis nach Integration der grundlegenden GIS-Funktionalität mit quant. räumlicher Analyse (Spatial Analysis) und räuml. Statistik.
- Verlagerung der GIS-Aufgaben von Datenverwaltung zu Analyse und Entscheidungsunterstützung. Bisher stehen einfache Abfragen und Tabullierungen im Vordergrund. Tendenzen: Vermehrter Einbau von Analysefunktionen in bestehende GIS (z.B. Netzanalyse), lockere Kopplung von speziellen Analysesystemen an GIS, Ziel wären eng gekoppelte Systeme mit gemeinsamen komplexen Datenstrukturen; Entwicklung von Makrosprachen für GIS- und Analysefunktionen (erweiterte SQL-Ansätze)
- Entwicklung von Werkzeugen für sequentielle Prozessabfolgen, Entwicklung von benutzerfreundlichen GIS-Schnittstellen

Genauigkeit und Zuverlässigkeit

- Unsicherheit diskretisierter Daten wird von Systemen in der Regel nicht berücksichtigt, Unsicherheit der Endprodukte in der Regel unbekannt.
- Untersuchungen zum Verhältnis Datenpräzision und Genauigkeit, Verwendung von Erkenntnissen der Geostatistik (Kriging), Untersuchung von Digitalisierfehlern, Modellierung von Zufallsfeldern.
- Um komplexe räumliche Analysen durchführen zu können, braucht der Benutzer ein Verständnis der grundlegenden Methoden und Konzepte; Schulungsaufgabe.

Verschiedene Themenbereiche

- Vermehrt Forschung in diesem Gebiet der Systembeschaffung, Systemevaluation und von institutionellen und organisatorischen Fragen
- Umsetzung neuer Forschungserkenntnisse (Fehlerprobleme) in operationelle Systeme (GIS-Entwickler)
- Professioneller Einsatz der GIS/Analyse-Hilfsmittel durch gut geschulte Benutzer; Ausbildungsprogramme

Technologische Trends

- Hardware: Zentralrechner > Mini > Arbeitsstationen/Mikro. Vervielfachung der Rechenkapazität
- Software: Kartierung > Datenextraktion > Datenverwaltung > Raumanalyse > Entscheidungsunterstützungssysteme. Billigsysteme mit wachsendem Potential
- Netzwerke zur Unterstützung voll verteilter Anwendungen und voll verteilter Datenverwaltungssysteme
- GIS-Standards: In Zukunft wird der typische GIS-Benutzer ein "Anwender-Spezialist". Systeme sollen deshalb benutzerfreundlich, modular aufgebaut, flexibel und transparent sein. Das setzt Standardisierungen in verschiedenen Bereichen voraus:
 - Systeme und Netze: Physische Verknüpfungen, Speichermedien, Darstellungsinterfaces, Datenkommunikation, Betriebssysteme (UNIX), Graph. Benutzerschnittstellen
 - Spezifikationen und Formate: Genauigkeitsattribute, Objektklassifikationen, kartographische Codierung, räumliche Datenmodelle, Datenbankarchitektur, Austauschformate für GIS-Objekte
 - Dateien: Internationale Datenbestände, nationale Basiskarten, Census/Statistik-Dateien, weitverbreitete Dateien als de-facto Standards.

Gesellschaftliche Fragen und Markttrends

- Veränderung der Benutzeranforderungen: Steigendes Problembewusstsein (GIS awareness), gesellschaftlicher Umbruch, Integration
- Marktentwicklung nach Rhind (1991):

Jahr	1990	1993	1996	2000
GIS-Markt (Mio\$)	1000	1750	3000	6200
Anz. Installationen	20'000	55'000	150'000	580'000

- Vermehrter Einsatz bei internationalen Gesellschaften und Organisationen, Verlagerung von arbeitsintensiven Arbeiten in Billiglohnländer (Digitalisierung)
- langfristig werden GIS ev. Bestandteile von umfassenderen Systemen (z.B. Management Information System)
- Proliferation der Systemnutzung für breitere Benutzerkreise (Mikrosysteme)
- Problematik der grossen Datenmengen werden belanglos in einigen Bereichen (z.B. Bevölkerungsstatistik), bleibt aber bestehen bei Satellitenbilddaten.
- Problematik der Kostenüberwälzung für die Datenbeschaffung: unterschiedliches Vorgehen in verschiedenen Ländern.
- Datenschutz/-sicherheit wird bedeutsamer werden. Analysepotential wird stark reduziert, falls Datenaggregation notwendig.

Ziele

- Bessere Systeme: schneller, intelligenter, umfassender, benutzerfreundlicher; wird erreicht durch bessere Methodologie und bessere Technologie
- Bessere Informationsquellen: Menge und Genauigkeit von Daten, Metadaten, Selektion relevanter Information, Verfügbarkeit von Daten
- Besseres Verständnis der zu lösenden Probleme: bessere Systeme / Daten, besser geschulte Spezialisten und Generalisten; mehr Zeit, um über Probleme nachzudenken.
- Bessere Lösungen für Probleme: besseres Verständnis der Probleme; Bereitschaft, wirkliche Probleme lösen zu wollen; reife Technologie.

Ausgewählte neuere Literatur

a) Textbücher

- Aronoff, Stan. (1989): *Geographic Information Systems: A Management Perspective*, WDL-Publications.
- Ashdown, Michael und Jörg Schaller, eds. (1990): *Geographische Informationssysteme und ihre Anwendung in MAB-Projekten, Ökosystemforschung und Umweltbeobachtung*, Deutsches Nationalkomitee für das UNESCO-Programm "Der Mensch und die Biosphäre" (MAB), Bonn.
- Bartelme, Norbert (1989): *GIS-Technologie: Geoinformationssysteme, Landinformationssysteme und ihre Grundlagen*, Springer Verlag, Berlin und Heidelberg.
- Bill, Ralf und Dieter Fritsch (1991): *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*, Band 1: Hardware, Software und Daten, Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Burrough, P. A. (1986): *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment*, Clarendon Press, Oxford.
- Department of the Environment (1988): *Handling Geographic Information*, Her Majesty's Stationery Office, London.
- Environmental Systems Research Institute (1990): *Understanding GIS*, Redlands, CA.
- Göpfert, Wolfgang (1987): *Raumbezogene Informationssysteme: Datenerfassung - Verarbeitung - Integration - Ausgabe auf der Grundlage digitaler Bild- und Kartenverarbeitung*, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Goodchild, Michael F. und Sucharita Gopal, eds. (1989): *The Accuracy of Spatial Databases*, Taylor & Francis, London, Washington, DC.
- Goodchild, Michael F. und Karen K. Kemp, eds. (1990): *NCGIA Core Curriculum*, 3 vols., National Center for Geographic Information and Analysis, University of Santa Barbara.
- Guptill, Stephen C., ed. (1988): *A Process for Evaluating Geographic Information Systems*, Federal Interagency Coordinating Committee on Digital Cartography, Technology Exchange Working Group - Technical Report 1, USGS.
- Raper, Jonathan, ed. (1990): *Three-Dimensional Applications in GIS*, Taylor & Francis, London, Washington, DC.
- Schilcher, Matthäus und Dieter Fritsch (1989): *Geo-Informationssysteme: Anwendungen - neue Entwicklungen*, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- Scholten, Henk J. und John C.H. Stillwell, eds. (1990): *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Tomlin, C. Dana (1990): *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

b) Zeitschriften und Proceedings

- Cartography and Geographic Information Systems* (formerly *The American Cartographer*): Journal of American Congress on Surveying and Mapping, Bethesda, MD.
- GIS Geo-Informationssysteme*: Zeitschrift für interdisziplinären Austausch innerhalb der Geowissenschaften, Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- GIS WORLD*: News of GIS Technology in Land-, Natural Resources- and Urban Information Management, Fort Collins, CO.
- International Journal of Geographical Information Systems*: Taylor & Francis, London, Washington, DC.
- AM/FM*: Proceedings of the Annual International Conference on Automated Mapping/Facilities Management, AM/FM International, International and European Division.
- Auto Carto*: Proceedings of the International Symposium on Automated Cartography,

- American Cartographic Association.
ESRI: Proceedings of the Annual ESRI (Environmental Systems Research Institute) User Conference, Redlands, CA.
EGIS: Proceedings of the Annual European Conference on Geographical Information Systems, EGIS Foundation, Utrecht.
GIS/LIS: Proceedings of the Annual International Conference, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing and the American Congress on Surveying and Mapping, Falls Church, VA.
SSD: Proceedings of the Symposium on the Design and Implementation of Large Spatial Databases, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
URISA: Proceedings of the Annual Conference of the Urban and Regional Information Systems Association, San Diego, CA.

c) Artikel zu speziellen Themen

- Berry, J.K. (1987): Fundamental Operations in Computer-Assisted Map Analysis, in: *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 1, Nr. 1, S. 119-136.
- Borough, Peter A. (1991): Intelligent Geographical Information Systems - the case for formalizing what we already know, paper presented at the *European Science Foundation Workshop on European Research in Geographical Information Systems*, Davos, 24-26 January, 21 S.
- Carter, James R. (1988): A Typology of Geographic Information Systems, in: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing and the American Congress on Surveying and Mapping: *Technical Papers, ACSM-ASPRS Annual Convention*, vol. 5, S. 207-215.
- Chorley, Roger (1988): Some Reflections on the Handling of Geographical Information, in: *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 2, Nr. 1, S. 3-9.
- Klein, Dennis H. (1988): User Expectations for Selecting a Microcomputer-based Municipal Automated Mapping/Land Information System (AM/LIS), in: *Proceedings of GIS/LIS '88*, vol. 2, San Antonio, S. 550-560.
- McLaughlin, John (1990): Trends and Issues in LIS/GIS, paper presented at the *Workshop on Training and Transfer of Technology in Digital Cartographic Data of the UN Natural Resources and Energy Division/Department of Technical Co-operation for Development*, Vienna, Sept./Oct., 18 S.
- National Center for Geographic Information and Analysis (1989): The Research Plan of the National Center for Geographic Information and Analysis, in: *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 3, Nr. 2, S. 117-136.
- Rademacher, F.J. (1991): The importance of Metaknowledge for Environmental Information Systems, in: Günther, O. and H.-J. Schek, eds., *Advances in Spatial Databases, Proceedings of the 2nd Symposium on the Design and Implementation of Large Spatial Databases (SSD '91)*, Zurich, S. 35-44.
- Rhind, David (1988a): A GIS Research Agenda, in: *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 2, Nr. 1, S. 23-28.
- Rhind, David und N.P.A. Green (1988b): Design of a Geographical Information System for a Heterogeneous Scientific Community, in: *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol. 2, Nr. 2, S. 171-189.
- Rhind, David (1991): The next generation of Geographical Information Systems and the context in which they will operate, paper presented at the *European Science Foundation Workshop on European Research in Geographical Information Systems*, Davos, 24-26 January, 21 S.
- United Nations Secretariat (1991): Spatial Information Management in Cartography, paper presented at the *Twelfth United Nations Regional Cartographic Conference for Asia and the Pacific*, Bangkok, 20-28 February, 32 S.