

5. Geoinformation und ihre Dimensionen

Einleitung

Ziel dieser Lerneinheit ist es, die räumliche und zeitliche Repräsentation der Geoinformation in ihren unterschiedlichen Ausprägungen zu vermitteln. Bezüglich der räumlichen Repräsentation soll das unterschiedliche Abstraktionsniveau zwischen Geometrie und Topologie deutlich werden.

Inhalt

5. Geoinformation und ihre Dimensionen

5.1 Räumliche Repräsentation	3
5.1.1 Kategorien des Raumbezugs.....	3
5.1.2 Dimensionen	4
5.1.3 Geometrie.....	7
5.1.4 Topologie.....	8
5.2 Zeitliche Repräsentation.....	9

5.1 Räumliche Repräsentation

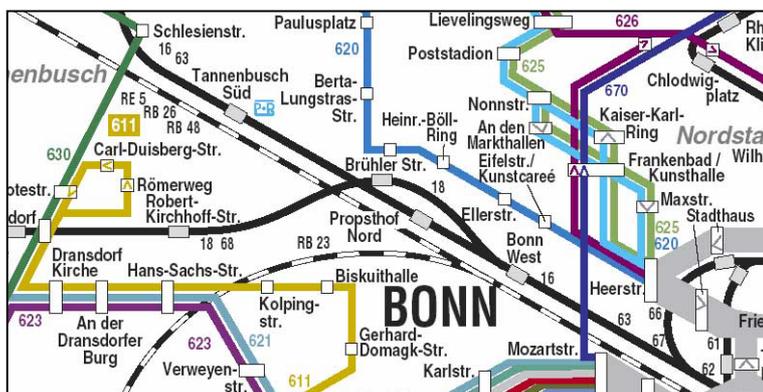
Neben der Erfassung, Verwaltung und Analyse raumbezogener Informationen in Geoinformationssystemen ist die kartographische Visualisierung ein weiterer wichtiger Verarbeitungsschritt. Das Ergebnis der kartographischen Darstellung ist die Abstraktion (Generalisierung) der Realwelt. Das Ausmaß dieser Abstraktion wird als Abstraktionsgrad bezeichnet und hängt von den jeweiligen Bedürfnissen der Zielgruppe ab. Die analoge Karte ist das klassische Beispiel für ein Modell raumbezogener Daten (z.B. Landschaft, Geologie, Wetter).

Bei der Modellierung raumbezogener Daten sind **geometrische** und **topologische Eigenschaften** zu unterscheiden. Geometriedaten können auf Punktkoordinaten (Vektordatenmodell) oder auf diskreten Bildelementen, sog. Pixeln (Rasterdatenmodell), basieren (vgl. [Lerneinheit 4](#)). Raumbezogene Objekte werden durch die Form und die genaue Lage von Punkten, Linien und Flächen beschrieben (s. nebenstehenden Abbildung).

Die Topologie beschreibt die Lage und Anordnung der Geobjekte im Raum. Die durch Knoten, Kanten und Maschen aufgebaute topologische Struktur legt räumliche Beziehungen wie z. B. Nachbarschaft, Enthaltensein und Überschneidung eindeutig fest. Aus dem unten abgebildeten Topogramm geht zwar hervor wo sich die Haltestellen innerhalb ihrer Umgebung befinden, nicht jedoch deren exakte Position. Ein Topogramm ist eine stark schematisierte kartographische Darstellung, die der schnellen Orientierung im Raum dient. Die Kenntnis der exakten geographischen Lage der Objekte ist bei dieser Anwendung unbedeutend.



Mit Verkehrsnetzplan überlagerter Stadtplan
[Quelle: www.berlinonline.de/citymap, April 2003]



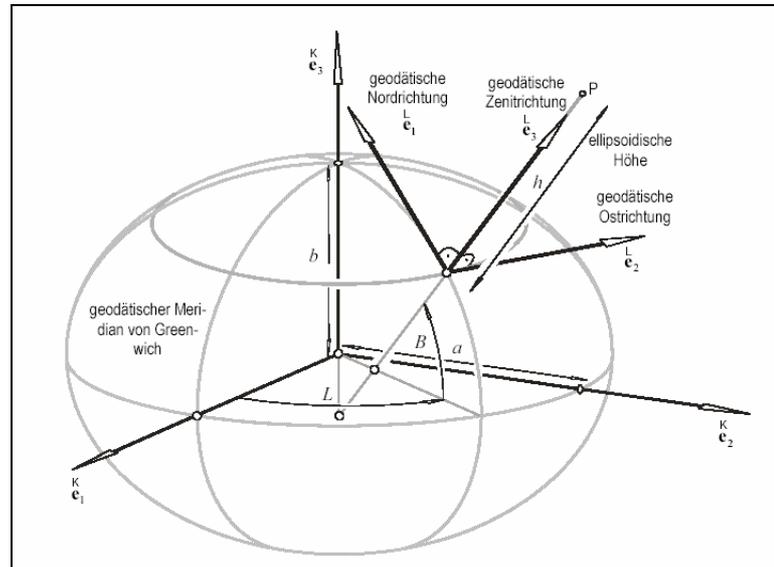
Busnetzplan Bonn

[Quelle: www.vrs-fahrplan.de, April 2003]

5.1.1 Kategorien des Raumbezugs

Unter geographischem Raumbezug versteht man den Bezug zur Erdoberfläche. Dabei unterscheidet man zwei Kategorien des Raumbezugs: die koordinatenbezogenen Identifikatoren und die nicht-koordinatenbezogenen (geographischen) Identifikatoren.

Mittels koordinatenbezogenen Identifikatoren wie geodätische, geographische oder lokale Koordinaten werden Datenobjekte im Bezugsraum direkt positioniert. Die eindeutige Zuordnung ist auf diese Weise sicher gewährleistet.



Darstellung eines Punktes im globalen geodätischen Koordinatensystem

$k \ k \ k$
(e_1, e_2, e_3) und ellipsoidischen Koordinaten (L,B,h)

Nicht-kordinatenbezogene (geographische) Identifikatoren stellen den indirekten Raumbezug über ein anderes Objekt, das direkten Raumbezug besitzt (z.B. Verwaltungsgebiet, Adresse) oder eine topologische Grundform (z.B. Gebiete innerhalb von Straßenzügen) her.



Ausschnitt aus: Verwaltungsgrenzen der BRD am 1.1.1998
[Quelle: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung]

Auf diese Weise kann der zur Verfügung stehende Platz zur Darstellung einer Fülle von Informationen optimal ausgenutzt werden. Es muss allerdings darauf geachtet werden, dass die eindeutige Zuordnung einzelner Objekte immer gewährleistet ist.

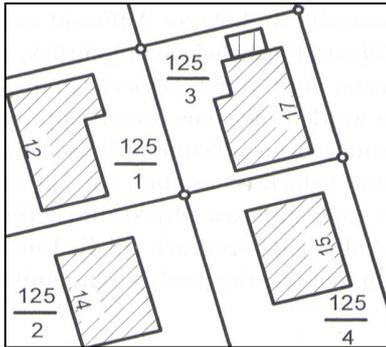
5.1.2 Dimensionen

Die Dimension wird durch koordinatenbezogene Referenzen oder nicht-koordinatenbezogene Referenzen festgelegt. Zu den koordinatenbezogenen gehört die Geo-Referenz, die wiederum

die horizontale Referenz (2DR) oder vertikale Referenz (3DR) umfasst. Geoinformationssysteme werden in Bezug zur Geometrie folgendermaßen eingeteilt.

2D-Modell

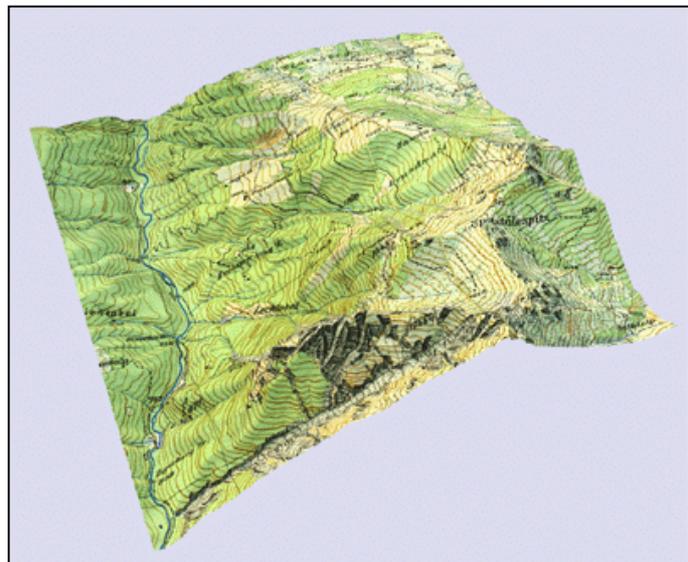
Beim 2D-Modell wird die Realwelt in die Ebene abgebildet. Die Geometriedaten beziehen sich somit lediglich auf die zweidimensionalen x,y-Koordinaten. Zusätzlich kann die Höhe beispielsweise als Höhenlinie abgebildet werden. Eingesetzt werden diese konventionellen Geoinformationssysteme u.a. im Liegenschaftskataster (z.B. ALK).



2D-Modell
[Quelle: Bill 1999a]

2½D-Modell

Bei dem 2½D-System wird die Höheninformation als Attribut zu den Lagekoordinaten gespeichert. Dabei kann nur jeweils ein Wert in der z-Achse abgespeichert werden. Der Nachteil bei diesem System ist, dass die Höhen mit den Lagekoordinaten verknüpft sind und somit die Darstellung der dritten Dimension von der Dichte der Lagepunkte abhängt. Zudem liegt die Topologie nur in 2D vor, so dass Analysefunktionen sich auf die zweite Dimension beschränken müssen.

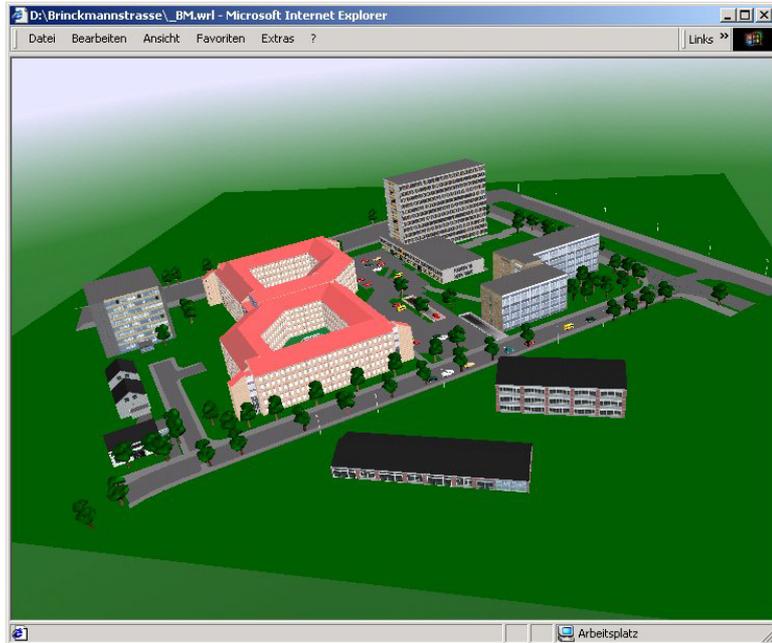


Digitales Höhenmodell, über das eine Topographische Karte mit Schummerung gelegt wurde
[Quelle: <http://www.agk.uni-karlsruhe.de/misc/gis/acht.gif>, Oktober 2003]

3D-Modell

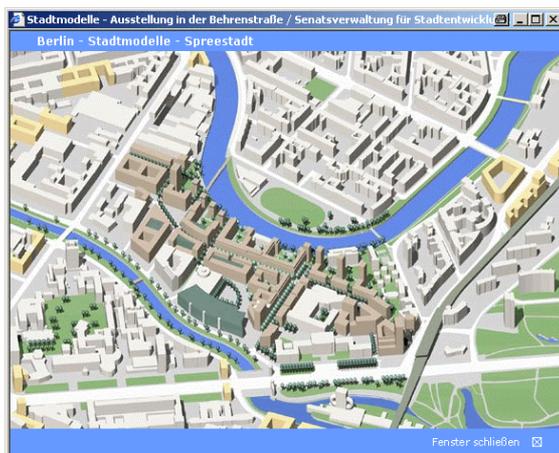
Die 3D-Modelle basieren in der Regel auf einem dreidimensionalen Koordinatensystem (x,y,z-Koordinaten für jeden Punkt). Objekte werden durch Vektoren beschrieben, deren Punkte durch x,y,z-Koordinaten definiert sind. Die Visualisierung der Geometrie ist möglich. Die Darstellung kann durch ein Kanten-, Flächen- oder Volumenmodell erfolgen (s. dazu auch [4.3.2 Modellierung der geometrischen Daten](#)). Zudem können innerhalb solcher Modelle Funktionen zur Präsentation (z.B. Berechnung von Schattierungen) und Interaktion (z.B. Navigation eines Nutzers im jeweiligen Modell) festgelegt werden.

Auch beim 3D-GIS stellt die mangelhafte Topologie ein Problem dar. Analysefunktionen können bisher nur rudimentär angeboten werden. Gerade in diesem Bereich liegt ein hohes Maß an Entwicklungspotential.

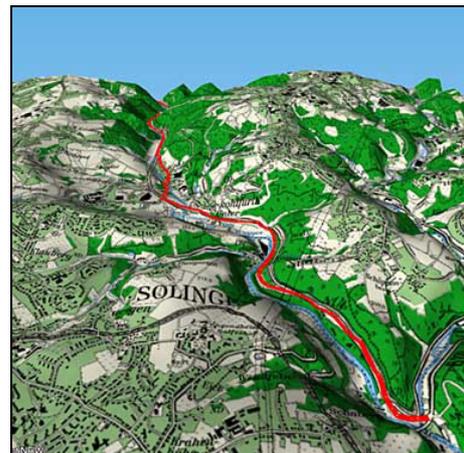


3D-Stadtmodell: Brinkmannstraße in Düsseldorf [VRML-Modell CPA Geo-Information]

Wie in den folgenden Abbildungen gut ersichtlich ist, kann durch eine perspektivische Darstellung dem Nutzer die Erfassung der Informationen erleichtert werden. Dies ist besonders für Anwender von Vorteil, die über wenig Erfahrung mit dem Kartenlesen verfügen.



3D-Innenstadtmodell Berlin - Spreestadt
[Quelle: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtmodelle/de/stadtmodell_3d.shtml, April 2003]



3D-Kartenausschnitt NRW
[Quelle: Nordrhein-Westfalen 3D - Das interaktive Kartenwerk]

Weitere Beispiele können in [LE 6 - Kapitel „6.3.4 Dreidimensionale Visualisierung“](#) des Lernmoduls 10 (www.geoinformation.net) betrachtet werden.

5.1.3 Geometrie

Unter **geometrischem Modellieren** versteht man die Beschreibung, Bearbeitung und Speicherung der zugrundeliegenden **Geometrie von raumbezogenen Objekten**. [Bill 1999a]

Man unterscheidet vier Elementartypen der Geometrie:

- Punkt
- Linie
- Fläche
- Raumkörper

Objekte der Realwelt gehören zum Geometriotyp Raumkörper und werden bei Abstraktion auf den Grundriss zum Geometriotyp Fläche umgewandelt. Die zweidimensionale Darstellung der Kartographie unterscheidet Kartenobjekte als punkthafte, linienhafte und flächenhafte Geometriotypen.

- **punkthaft**

- 0-dimensional
- ein Satz Koordinaten
- Träger der geometrischen Information

- **linienhaft**

- 1-dimensional
- Segment: zwei Sätze Koordinaten und kürzeste Verbindung
- String: geordnete Folge von Koordinatensätzen und kürzeste Verbindungen
- Arc: geordnete Folge von Koordinatensätzen und deren Verbindungen durch einen Satz von mathematischen Funktionen

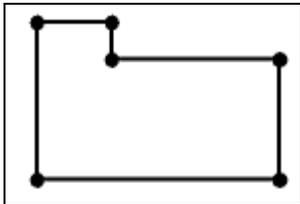
- **flächenhaft**

- 2-dimensional
- Begrenzung durch nicht unterbrochene äußere Linie (Grenze; Boundary)
- gegebenenfalls Begrenzung durch nicht unterbrochene innere Linien
- Linien können String oder Arc sein

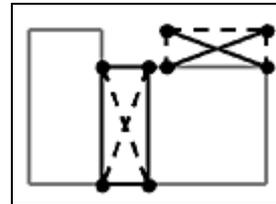
Element	Digital	Analog
Punkt	x,y-Koordinaten	●
Linie	x,y-Koordinatenfolge	—
Fläche	geschlossene x,y-Koordinatenfolge	◻

Elementartypen der Geometrie

Bezogen auf das Objekt unterscheidet man Definitionsgeometrie (Objektgeometrie) und Ausgestaltungsgeometrie (Darstellungsgeometrie). Ziel der Definitionsgeometrie ist die präzise Zuordnung zum Raum, wohingegen bei der Ausgestaltungsgeometrie das Ziel die Repräsentation von Form und Größe ist.



Definitionsgeometrie

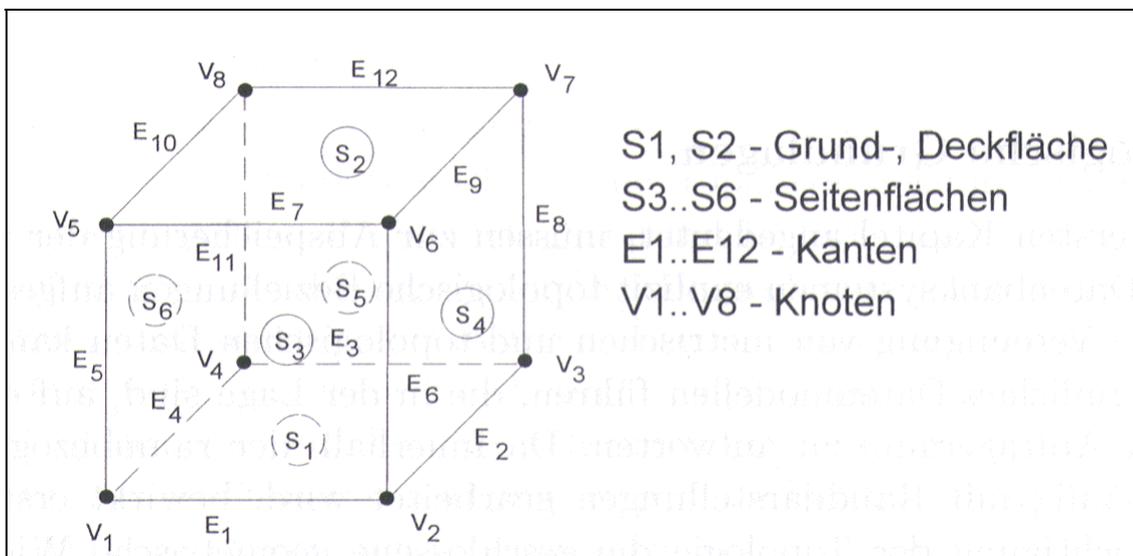


Ausgestaltungsgeometrie

5.1.4 Topologie

Bei der Geoinformation spielt die Topologie als Abstraktion der Geometrie eine Rolle. Im Gegensatz zur Geometrie interessiert innerhalb der Topologie nur die gegenseitige Beziehung von Objekten. Ihr Ziel ist die räumliche Ordnung der Objekte durch topologische Elementarstrukturen. Raumbezogene Objekte können als eine Menge von Knoten, die durch Kanten miteinander verbunden sind, interpretiert werden (Nachbarschaftsbeziehung).

Knoten sind definiert als Anfangs- bzw. Endpunkt einer Kante oder stellen den Treffpunkt mehrerer Kanten dar. Sie treffen eine Aussage über einen Objekt- oder Attributwechsel bei linienhaften Objekten. Kanten geben dabei einem linienhaften Objekt eine Bedeutung oder dienen der Trennung zweier flächenhafter Objekte. Die Form der Kanten ist dabei nicht zwangsweise auf eine Gerade festgelegt, sondern kann auch eine beliebige Kurve darstellen. Es muss nur sichergestellt sein, dass Kanten sich nicht selbst schneiden. Mindestens drei Kanten wiederum begrenzen eine Flächen, die als Masche bezeichnet wird.

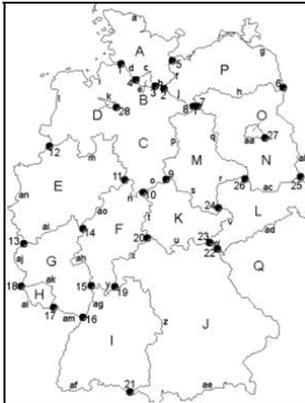


Topologische Zerlegung eines Würfels
 [Quelle: Bill 1999a]

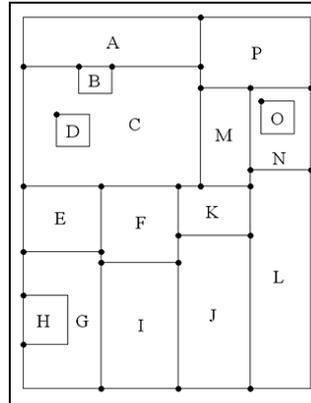
Abstraktionsgrade der Topologie

Als Abstraktionsgrade der Topologie können der planare und der gerichtete Graph angesehen werden. Ausgehend von der Darstellung der Ländergrenzen lässt sich ein Graph bestehend aus Knoten, Knotennamen und Kanten abstrahieren. Erfolgt eine Zuordnung von Regionen (hier Bundesländer), so erhält man einen **planaren Graphen**. Damit sichergestellt ist, dass der

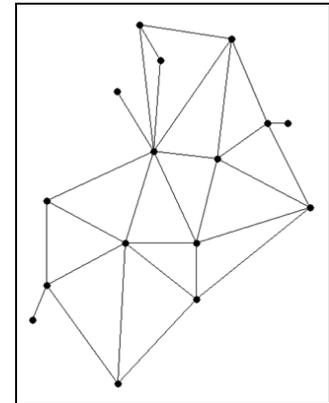
Graph in die Ebene eingebettet ist, wird jedem topologischen Knoten ein geometrischer Punkt zugeordnet. Der planare Graph ist die topologische Repräsentation einer Karte. Ein **gerichteter Graph** hingegen gibt die topologische Repräsentation eines Raumbezugs wieder. Dabei hat auch die Richtung der Kante eine bestimmte Bedeutung. Dies kann z.B. zur Angabe der erlaubten Richtung des Verkehrsflusses in Einbahnstrassen eingesetzt werden.



Ländergrenzen, Knoten, Kanten und Regionen



planarer Graph

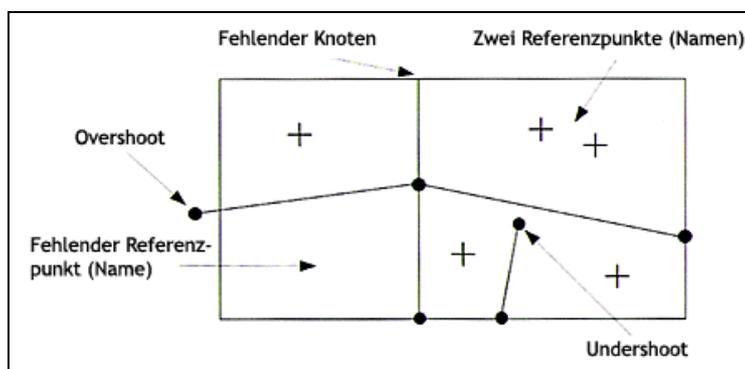


gerichteter Graph

Topologische Fehler

Bei der topologischen Repräsentation können Fehler auftreten, die unbedingt vermieden werden müssen. Diese können durch die Prüfung der Beziehungen zwischen den Instanzen der Knoten, Kanten und Maschen erkannt werden:

- Fehler, so dass kein Graph vorliegt
 - z.B. fehlender Knoten
- Fehler, so dass Umringe um Maschen nicht geschlossen sind (keine Zyklen bilden)
 - z.B. Kante zu kurz (Undershoot) oder Kante zu lang (Overshoot)
- Fehler, so dass einer Kante weniger oder mehr als zwei Maschen zugeordnet sind
 - z.B. Masche ohne Namen oder mit mehreren Namen



Topologische Fehler
[Quelle: Gröger 2000]

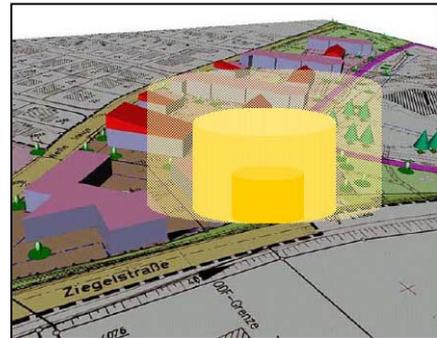
5.2 Zeitliche Repräsentation

In vielen Anwendungsfällen genügt bereits die im Kap. 5.1 behandelte Betrachtung der räumlichen Dimension. Die Zeit wird dann als Konstante betrachtet. Als Beispiele dieser Darstel-

lung können Karten im Vermessungswesen und in der Energieversorgung angeführt werden. Veränderungen finden in diesem Bereich recht langsam statt, die falls notwendig durch Neu-erfassung des Datenbestandes aktualisiert werden.

Allerdings bilden sich immer mehr Anwendungsbereiche von Geoinformationssystemen heraus, bei denen nicht von einem statischen Datenbestand ausgegangen werden kann. Hier muss neben der räumlichen Dimension auch die zeitliche Dimension berücksichtigt werden. Anwen-dungsbereiche wären beispielsweise die Simulation von Grundwasserströmungen oder die Bereitstellung von Abfragemöglichkeiten wie z.B.:

„wann wurde ein bestimmte Gebäude errichtet“ oder „wie oft wurden bestimmte Daten bereits aktualisiert“. Die Implementierung ins GIS befindet sich zur Zeit noch im Forschungsstadium. Bei der Zeiterfassung müssen sowohl kurze (z.B. Meteorologie) wie auch lange Zeitspannen (z.B. Geologie) berücksichtigt werden. Zudem können Daten in unterschiedlichen Einheiten vorliegen, was bei der Verarbeitung zusätzlich beachtet werden muss. Bei der Verwaltung der Daten interessieren nun mehrere Zeitpunkte, was neben einem höheren Verwaltungsaufwand auch mehr Speicherplatz erfordert.

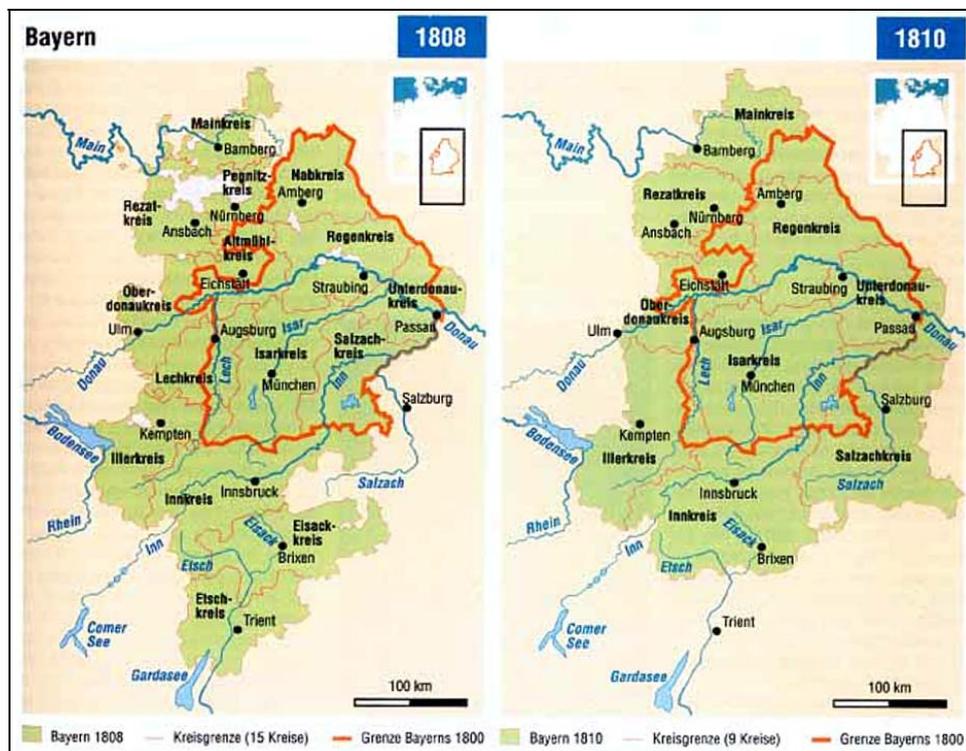


4D-Modell
[Quelle: Loidold 2002a]

Wird neben den x,y,z-Koordinaten die Zeit t gespeichert, so wird häufig von einem 4D-GIS gesprochen. Natürlich ist je nach Anwendung auch die Erweiterung von 2D- oder 2½D-Modellen möglich.

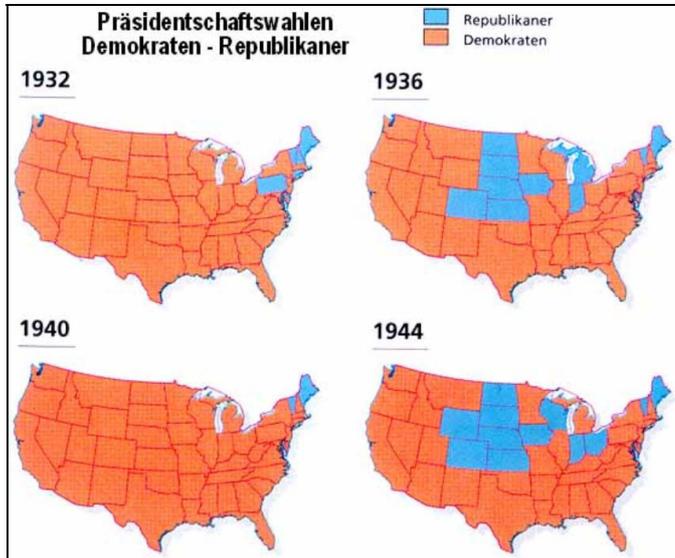
Bei der zeitlichen Repräsentation müssen zwei Arten von Veränderungen raumbezogener Sachverhalte unterschieden werden:

- **Änderung der Geometrie** in Form von Lage und Höhe von Objekten und Objektgrenzen

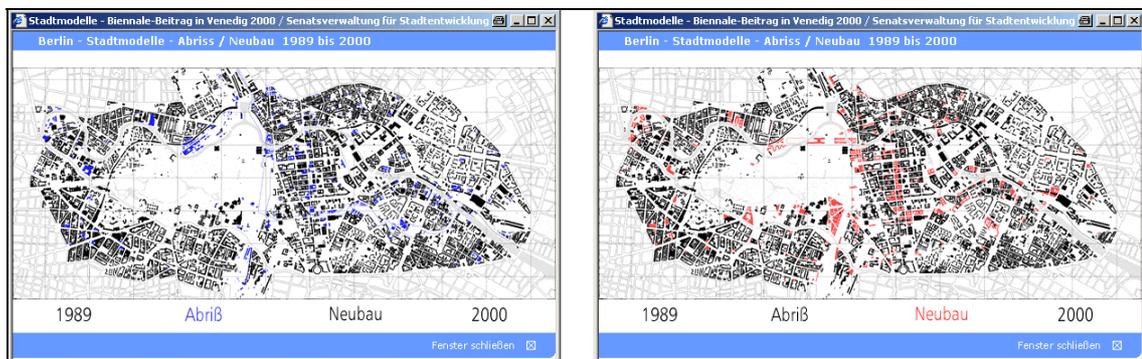


[Quelle: Scheuch, Manfred: Historischer Atlas Deutschland. S. 151]

- **Änderung des Inhalts** bezüglich der Qualität oder Quantität der Attribute, der Merkmale oder der Beziehung von Objekten



[Quelle: Black, Jeremy (Hrsg.): DUMONT - Atlas der Weltgeschichte. S. 135]



Abriss/Neubau in Berlin von 1989 bis 2000

[Quelle: www.stadtentwicklung.berlin.de/planen/stadtmodelle/de/abriss_neubau_1989_2000.shtml, April 2003]

Zur Präsentation stehen dabei zwei Arten von Zeitreferenzen zur Verfügung. Unter der **direkten Zeitreferenz** versteht man die Festlegung anhand des Datums, der Uhrzeit etc., wohingegen man unter **indirekter Zeitreferenz** Angaben wie z.B. Mittelalter, Karbon, etc. versteht. Weiterhin werden drei Zeittypen der Dynamik zur Klassifikation raumbezogener Bewegungen unterschieden:

- kontinuierlich (Verlauf); z.B. Flusserosion
- wiederkehrend (Periode, Zyklus); z.B. stundenweiser Tidenhub, jahreszeitlicher Wechsel
- sprunghaft (Epoche); z.B. Überschwemmungen

Eine weitergehende Klassifikation, nach N. J. Yattaw, setzt diese Zeittypen in Bezug zum Geometrietyp des raumbezogenen Objekts (s. Tabelle).

		zeitliches Abstraktionsniveau			
		statisch	dynamisch		
			kontinuierlich (linear, stetig u.a.)	wiederkehrend (periodisch, unberechenbar u.a.)	sprunghaft (epochal, einmalig u.a.)
geometrisches Abstraktionsniveau	Positionen	Baum Denkmal Festpunkt Funkmast	Aufzeichnung von Fahrzeugbewegung (GPS, Radar)	Hot Spot, Austragungsorte (Formel 1 u.a.)	Erklärung zu Schutz- objekten, Verlegung von Amtssitzen
	linear	Straße Eisen- bahn Mauer Flusslauf	Satellitenbahn, Jetstreams (Hurrikan, Tornado)	Zugvögel, Nomaden	Staatsgrenzen, Flussläufe
	flächig	Wald Siedlung Friedhof See	Desertifikation, Anlandung	landwirtschaftliche Nutzung, Klimazonen	Grundeigentumsüber- gang, Umsiedlung, EU-Erweiterung
	räumlich	Hochhaus Geoid	Kontinentaldrift, Meeresströmung	Gezeiten, El Nino	Erdbeben, Explosionswolke (Vulkan, Tschernobyl)

[nach: Yattaw, Nancy J. 1999]

Bei der Verarbeitung der zeitlichen Dimension bieten Geoinformationssysteme viele Vorteile. Zum einen kann besser gespeichert, verarbeitet und abgerufen werden und zum anderen werden die Möglichkeiten zur Darstellung zeitabhängiger Sachverhalte (mehrere Epochen in einer statischen 2D-Graphik, Animation) erweitert. Die Erweiterung konventioneller 2D-Geoinformationssysteme um die Zeit, lässt schon heute den übersichtlichen Vergleich von einzelnen Zwischenergebnissen zu.

Literaturverzeichnis

Bartelme 2000 Bartelme, Norbert: **Geoinformatik - Modelle, Strukturen, Funktionen**. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 2000 [ISBN 3-540-65988-9]

Bill 1999a Bill, Ralf: **Grundlagen der Geo-Informationssysteme - Band 1 Hardware, Software und Daten**. Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999 [ISBN 3-87907-325-2]

Bill 1999b Bill, Ralf: **Grundlagen der Geo-Informationssysteme - Band 2 Analyse, Anwendungen und neue Entwicklungen**. Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999 [ISBN 3-87907-326-0]

Gröger 2000 Gröger, Gerhard: **Modellierung raumbezogener Objekte und Datenintegrität in GIS**. Wichmann Verlag, Heidelberg, 2000 [ISBN 3-87907-354-6]

Loidold 2002a Loidold, Manfred: **3D GIS - Einführung und Grundlagen**. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, GeoInformation Technologies Group, 2002

Loidold 2002b Loidold, Manfred: **4D GIS**. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Geo-Information Technologies Group, 2002