



geoinformation.net

Projektpartner: Westfälische Wilhelms-  
Universität Münster -  
Institut für Geoinformatik  
Datum: 03.02.2003

## Lerneinheit 1: „Einführung in die Visualisierung räumlicher Strukturen und Prozesse in Virtuellen Welten“

### Einleitung

Übergeordnetes Ziel des Lernmoduls ist es, die grundlegenden Konzepte und Techniken zur 3D-Visualisierung raumbezogener Daten und Prozesse zu vermitteln. Dabei sollen insbesondere die praktischen Anwendungsmöglichkeiten im Umfeld der verschiedenen Geowissenschaften, der planerischen Disziplinen, der Ingenieurwissenschaften und anderer Bereiche aufgezeigt werden. Das Lernmodul wendet sich sowohl an Anwender als auch an Systementwickler, die den Stand der Technik und die Konzeption heutiger Systeme kennen lernen möchten. Der Begriff der "Virtuellen Welt" unterstreicht die zentrale Eigenschaft der Navigierbarkeit der betrachteten Systeme. Mit Navigierbarkeit gemeint, dass der Anwender sich "frei" im (dreidimensionalen) Darstellungsraum bewegen und das Dargestellte aus unterschiedlichen Perspektiven betrachten kann.

Eine wesentliche Systemvoraussetzung hierfür ist die Fähigkeit, Bilder in Bruchteilen von Sekunden zu berechnen (sogenanntes "Echtzeit-Rendering"), so dass eine ruck- und flimmerfreie Bildschirmdarstellung möglich wird.

Es sollen einführende Beispiele zur 3D-Geovisualisierung gegeben werden, so dass der Lernende einen Eindruck vom Beschäftigungsgegenstand des Lernmoduls gewinnt. Darüber hinaus soll das Anwendungspotenzial visueller 3D-Darstellungen raumbezogener Daten und Prozesse aufgezeigt werden.

## Inhalt

<b>Lerneinheit 1: „Einführung in die Visualisierung räumlicher Strukturen und Prozesse in Virtuellen Welten“ .....</b>	<b>1</b>
Einführende Beispiele .....	3
Vor- und Nachteile der Geovisualisierung .....	6
Historische Entwicklung der Geovisualisierung .....	7
Definition der 3D-Geovisualisierung und Visualisierungszwecke .....	10
Kognitive Aspekte der Visualisierung .....	11
Visualisierungs-Pipeline .....	12
Literatur .....	14

## Einführende Beispiele

Das menschliche Sehvermögen bietet eine wesentliche Hilfe beim Erkunden und Verstehen räumlicher Strukturen und Prozesse. Die Darstellung von Geodaten in visueller, bildhafter Form besitzt daher eine wesentliche Bedeutung für die Analyse und Interpretation von Zusammenhängen und Veränderungen; Modellierung und Entscheidungsfindung werden wirkungsvoll unterstützt. Ein bekanntes Sprichwort bringt diese Philosophie zum Ausdruck: "Ein Bild sagt mehr als tausend Worte."

### Beispiel 1: Historisches Beispiel für den Nutzen der raumbezogenen Visualisierung

Ein bekanntes historisches Beispiel, welches den Nutzen der Visualisierung für die raumbezogene Analyse demonstriert, zeigt den Cholera-Ausbruch Mitte des 19. Jahrhunderts in London. Dr. John Snow zeichnete damals die Wohnorte von 500 Opfern in eine Karte ein und gewann somit Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen Wasserversorgung und Auftreten der Krankheit. In der Karte wurden die Wohnorte der Opfer eines Cholera-Ausbruchs in einem Londoner Stadtviertel (schwarze Balken) und die vorhandenen Wasserbrunnen ("pumps"; nachträglich eingefärbt) eingezeichnet. Die gemeinsame Darstellung führte über eine rein visuelle Analyse zur Ursachenfindung und somit zum Ursprung der Epidemie, hier dem rot markierten Brunnen.



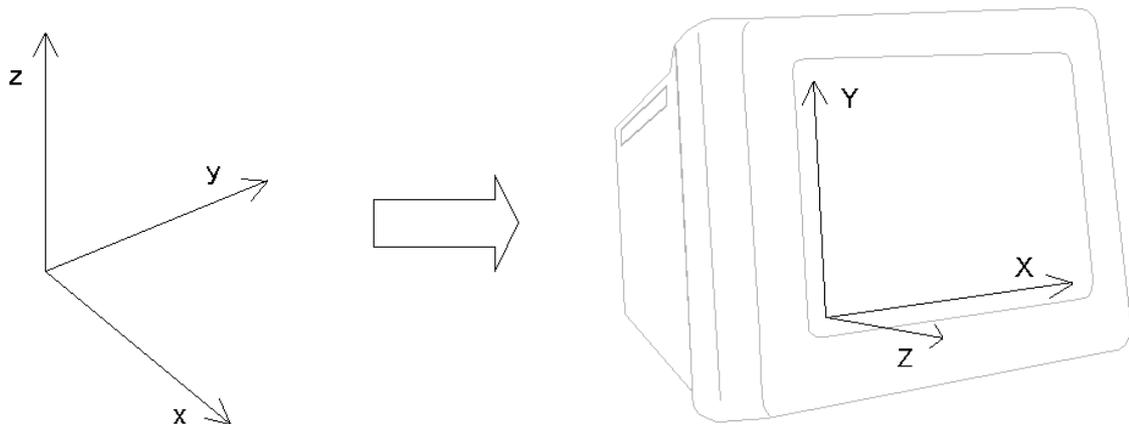
**Abbildung 1: Karte des Cholera-Ausbruchs in London**

SNOW nutzt in seiner historischen Visualisierung einen zweidimensionalen Darstellungsraum (Raumpositionen werden entsprechend ihrer horizontalen und vertikalen Position aufgetragen). Gegenstand des vorliegenden Lernmoduls ist die Visualisierung von Geodaten und -

prozessen in dreidimensionalen Darstellungsräumen. Den beiden nachfolgenden Beispielen 2 und 3 liegt jeweils ein dreidimensionaler Darstellungsraum zugrunde.

### Bemerkungen zum Begriff der Dimensionalität

Das vorliegende Lernmodul beschäftigt sich mit 3D-Geovisualisierung. Die Bezeichnung "3D" bezieht sich dabei auf die Dimensionalität des Darstellungsraums, der durch drei räumliche Koordinatenachsen aufgespannt wird.



**Abbildung 2: Koordinatenachsen**

Die visualisierten Objekte sind in ihrer räumlichen Ausdehnung nicht notwendigerweise dreidimensional (Dimensionalität der dargestellten Objekte). Sie können 0-, 1-, 2- oder 3-dimensional, also beispielsweise punkt-, linien-, flächen- oder volumenhaft sein. Unabhängig von der Dimensionalität der Objektgeometrien erfordert die Darstellung allerdings die Angabe von 3D-Koordinaten (x-, y- und z-Koordinaten).

Weiterhin ist die Dimensionalität des verwendeten Ausgabemediums zu berücksichtigen. Die Ausgabe des generierten Bildes erfolgt nicht notwendigerweise unter Verwendung eines dreidimensionalen Ausgabemediums (zum Beispiel ein stereoskopischer Projektionstisch), sondern kann auch auf einem zweidimensionalen Ausgabegerät erfolgen (zumeist einem Standard-Monitor).

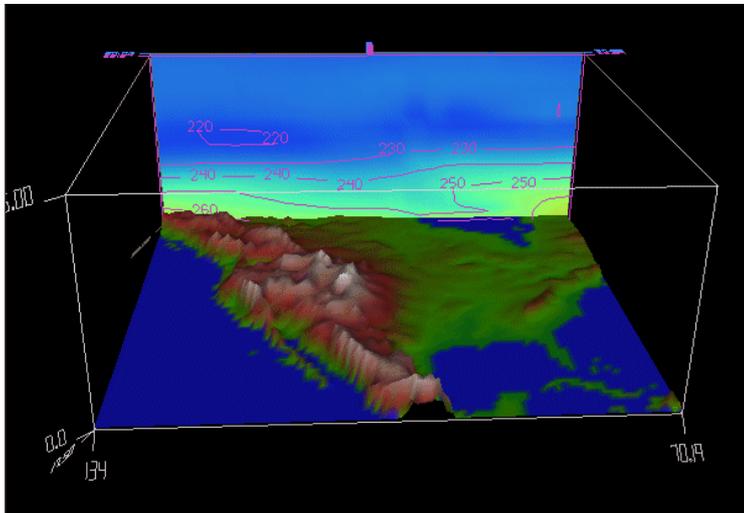
### Beispiel 2 : Erkundung atmosphärischer Daten mit Werkzeugen der "Wissenschaftlichen Visualisierung"

An Hand simulierter Daten sollen die meteorologischen Verhältnisse einer speziellen Wetter-situation erforscht werden. Eine der Grundideen, welche eine Anwendung dieser Techniken motiviert, spiegelt sich in einem Zitat Richard HAMMINGs aus dem Jahr 1962 wider: "The purpose of computation is insight, not numbers."

Als Grundlage für die vor der Visualisierung durchgeführte Simulation dient ein dreidimensionales Gitter, welches den Raum über der Erdoberfläche überspannt. In den Stützpunkten des Gitters sind für mehrere Zeitpunkte Werte für die Lufttemperatur, Windrichtung und Windstärken sowie für weitere physikalische Größen berechnet worden. Um einen Eindruck von diesen Ergebnissen zu erhalten und die hinterliegenden raumbezogenen Prozesse verstehen zu können, lassen sich Techniken aus dem Umfeld der "Wissenschaftlichen Visualisierung" anwenden.

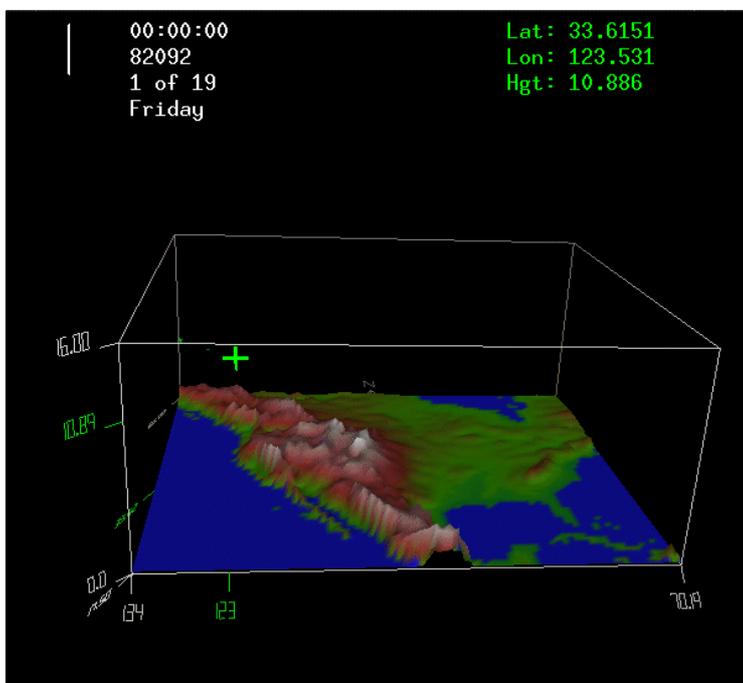
Zur Erkundung der atmosphärischen Daten lassen sich vertikale Schnittebenen durch den Raum legen und in Abhängigkeit von den Temperaturwerten, Windstärken oder anderen Größen einfärben. Die räumliche Lage der Schnittebenen ist dabei frei festlegbar. Die nachfolgende Abbildung zeigt neben einer nach den Geländehöhen eingefärbten Relief-Darstellung

des nordamerikanischen Landkörpers zwei derartige "Slicer", welche einen Eindruck von den in einer bestimmten Wetterlage vorherrschenden Temperaturverhältnissen geben.



**Abbildung 3: Slicer**

Ein wichtiges Werkzeug zur Erkundung der Daten bietet die sogenannte "Partikelverfolgung": An beliebigen Stellen innerhalb der Atmosphäre kann der Anwender virtuelle Luftpartikel ("Tracer") aussetzen und deren Weg durch das Windfeld berechnen lassen.



**Abbildung 4: Partikelverfolgung**

### Beispiel 3: Freiraumplanung an einem "Virtuellen Arbeitstisch"

Für planerische Zwecke lässt sich ein "Virtueller Arbeitstisch" nutzen, der Geobjekte wie in einem Styropor- oder Pappmodell im Museum zeigt. Im Gegensatz zum "statischen" Styropormodell bietet das digitale Pendant verschiedene Vorteile.

- Das Modell ist interaktiv veränderbar. So lässt sich z.B. ein Gebäude probeweise an eine andere Stelle schieben, um Planungsalternativen durchzuspielen
- Die Darstellung zeitlich veränderlicher Abläufe ist möglich. Z.B. lässt sich die Entstehung einer Siedlung im Rahmen einer zeitlichen "Animation" zeigen
- Es lassen sich unscharf begrenzte Körper wie Wolken, Nebel usw. darstellen

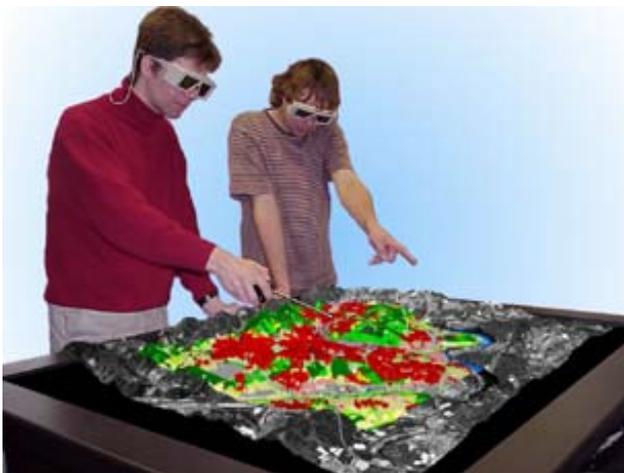


Abbildung 5: Stadtmodell am virtuellen Arbeitstisch

### Vor- und Nachteile der Geovisualisierung

Die im Abschnitt „Einführende Beispiele“ gegebenen Beispiele zeigen die **Vorteile** auf, welche 3D-Geovisualisierungen bieten:

- **Besseres Verständnis räumlicher Zusammenhänge:** Räumliche 3D-Beziehungen (z. B. die Form der Erdoberfläche, Abschattungseffekte bzgl. Sonne/Licht, Wind, Niederschlag, usw.) sind besser erkennbar als in traditionellen 2D-Darstellungen.
- **Möglichkeit der Interaktion:** Im Gegensatz zu klassischen Darstellungen wie beispielsweise papierernen Karten besteht die Möglichkeit, mit dem Dargestellten zu interagieren (z. B. Durchwandern einer Szene, Modifikation von Objektgeometrien, Änderung von Darstellungsparametern etc.).
- **Möglichkeit der Darstellung raum-zeitlicher Prozesse:** Es lassen sich zeitlich dynamische Prozesse darstellen, z. B. indem die Darstellung "animiert" wird, d. h. das Dargestellte sich abhängig vom Verstreichen der "Rechnerzeit" ändert.
- **Niedrige Hard- und Software-Kosten:** Bereits handelsübliche PCs mit einfachen OpenGL-basierten Grafikkarten reichen heute aus, um Anwendungen zur 3D-Geovisualisierung ablaufen zu lassen. Spezielle Grafik-Workstations sind nur selten erforderlich (z. B. für aufwändige Computer-grafische Verfahren oder immersive Umgebungen aus dem Umfeld der "Virtuellen Realität"). Für viele Anwendungsbereiche ist preiswerte Software verfügbar.

Dem stehen jedoch auch **Nachteile** gegenüber, die im jeweiligen Anwendungsfall gegenüber den Vorteilen abzuwägen sind:

- Teilweise teure Beschaffung von 3D-Daten: Die Beschaffung der für die 3D-Szenen benötigten geometrischen Daten kann im Einzelfall sehr aufwändig sein.
- Software-Krise für spezialisierte Anwendungen: Für Fachanwendungen mit speziellen Erfordernissen ist teilweise noch wenig Software verfügbar. Abhilfe schafft teilweise eine Kombination von 3D-Geovisualisierungssystemen mit Produkten insbesondere aus dem GIS- oder CAD-Umfeld (wobei es zu Interoperabilitätsproblemen kommen kann).

Allein die Verfügbarkeit leistungsfähiger Hard- und Software sowie der benötigten Daten Grundlagen muss nicht immer zu guten Visualisierungen führen. So stellt Michael Friendly (1999) fest: "Like good writing, good graphical displays of data communicate ideas with clarity, precision, and efficiency. Like poor writing, bad graphical displays distort or obscure the data, making it harder to understand or compare." Insofern sagt ein Bild nicht per se "mehr als hundert Worte". Der kritische Betrachter wird immer wieder auf schwer verständliche, wenig aussagekräftige oder auch falsche Darstellungen stoßen. Insofern ist die Beachtung (erweiterter) kartografischer Grundsätze auch für den Aufbau interaktiver 3D-Visualisierungen geboten.

## Historische Entwicklung der Geovisualisierung

Die dreidimensionale Darstellung raumbezogener Information hat eine lange Tradition. An dieser Stelle sollen nur wenige historische Beispiele genannt werden:

- Die BOLLMANN-Bildkarten liegen in Maßstäben von 1:5.000 und kleiner bei 1,5- bis 1,8-facher Überhöhungen (Gebäudehöhen) verfügbar. Abbildung 6 zeigt einen Ausschnitt aus der Bollmann-Karte für die Stadt Münster (Westfalen). Vergleichbare 3D-Stadtkarten wurden bereits im 17. Jhdt. n. Chr. angefertigt.

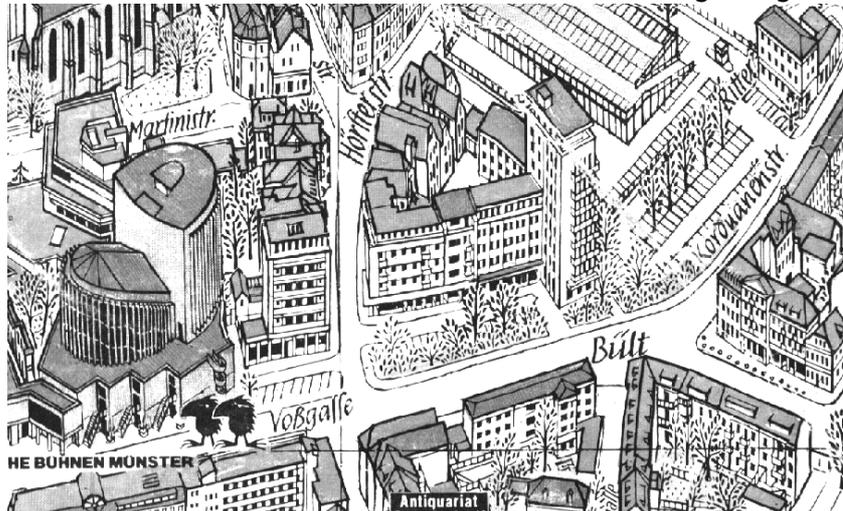


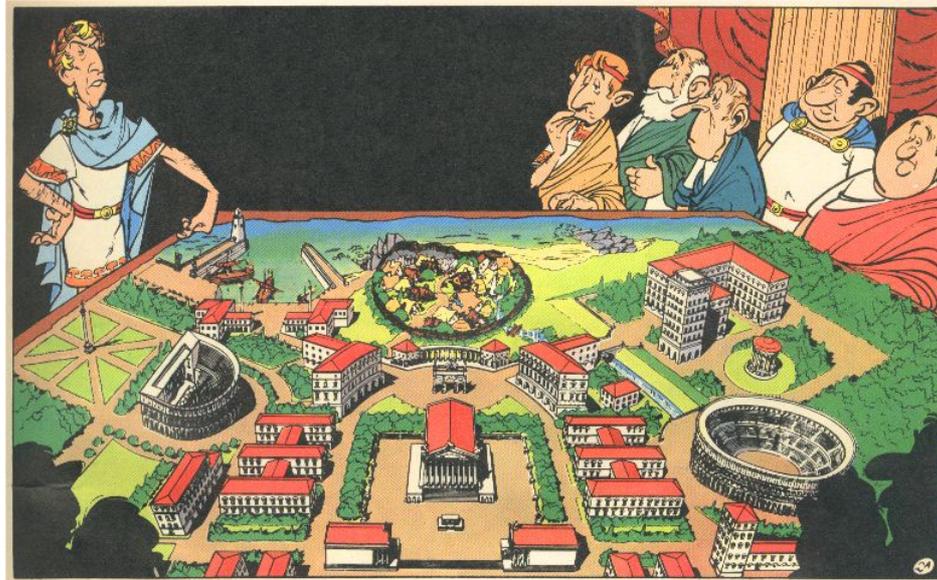
Abbildung 6: Bollmann-Bildkarten

- Die aufklappbaren Vorher-Nachher-Darstellungen des britischen Landschaftsarchitekten Humphrey Repton (1752-1818) zeigen dreidimensionale Darstellungen des Ist-Zustandes zu gestaltender Landschaften und aufklappbare Planungsvorschläge, z. B.:



**Abbildung 7: Vorher-Nachher-Darstellung von Repton**

- 3D-Stadtmodelle wurden bereits in der Antike eingesetzt. Das folgende Beispiel von GOSCINNY & UDERZO (1971) dürfte belegen, dass 3D-Stadtmodelle seit mehr als 2000 Jahren zur Präsentation von Planungsentwürfen praktisch eingesetzt werden.



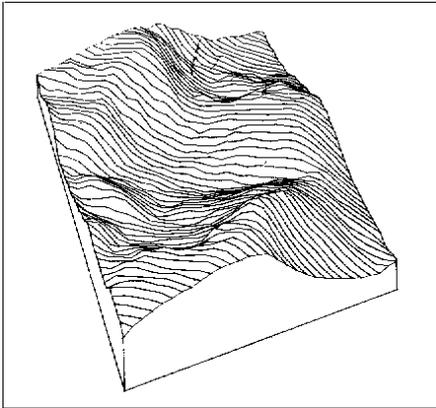
**Abbildung 8: 3D-Stadtmodell**

Die Beispiele belegen die Nachfrage nach dreidimensionalen Darstellungen. Ein entscheidendes Defizit ist allerdings in der fehlenden Möglichkeit der Einflussnahme des Betrachters auf die dargestellten Szenen zu sehen. So ist es zum Beispiel nicht immer möglich,

- Betrachterstandpunkt und Blickrichtung zu ändern,
- das 3D-Modell virtuell zu durchwandern,
- den Maßstab der Darstellung zu ändern oder
- komplexere Manipulationen an den dargestellten Objekten vorzunehmen.

Unabhängig von den Entwicklungen in den Geowissenschaften und anderen raumbezogen arbeitenden Disziplinen hielt die Rechner-gestützte grafische Darstellung nicht-georäumlicher Daten in den 50er bis 70er Jahren verstärkt Einzug in die Praxis (zum Beispiel in Form von Präsentationsgrafiken). Im Umfeld der Statistik ist insbesondere die Idee der Explorativen Datenanalyse (EDA, Tukey 1977) zu nennen.

Die Automation hielt insbesondere in den 60er-Jahren vermehrt Einzug in die Kartografie. Techniken wie Digitalisierung, Oberflächendarstellungen von Geländemodellen, Animation, Computer-generierte Anaglyph-Bilder und Holografien wurden zu dieser Zeit in der Fachwelt bereits stark diskutiert.



**Abbildung 9: Historische Entwicklung**

Entscheidende weitere Impulse erhielt die Computer-Visualisierung Mitte der 80er Jahre. Bedingt durch

- die zunehmende Größe der zu verarbeitenden Datenmengen (u. a. durch verbesserte Messtechniken, die Fernerkundungsdaten, Schallmessungsdaten im Boden usw. lieferten),
- die steigende numerische Rechenleistung der Digitalrechner, die z.B. die Berechnung umfangreicher Datenmengen auf Grundlage von Simulationsmodellen ermöglichte,
- die Hardware-technischen Entwicklungen im Umfeld der Mikroelektronik, die leistungsfähige und fortlaufend preiswerter werdende Hardware (Grafik-Workstations mit Echtzeit-Rendering-Fähigkeit, Speicher usw.) verfügbar machte, sowie
- die Verfügbarkeit Computer-grafischer Software

wurden Visualisierungsmethoden verstärkt nachgefragt. Ende der 80er Jahre schließlich entstand ein neues Forschungsgebiet, das zwischen der Kognitionsforschung, Informatik, Psychologie und Kommunikationsforschung angesiedelt ist: Visualisierung im Sinne von Visualization in Scientific Computing, kurz ViSC. Häufig wird hierfür auch der Begriff "Wissenschaftliche Visualisierung" (engl.: "scientific visualization") verwendet.

Eine Veröffentlichung der U.S. National Science Foundation aus dem Jahr stellte damals fest: "As a tool for applying computer to science, [ViSC] offers a way to see the unseen. As a technology, [it] promises radical improvements in the human/computer interface and may make human-in-the-loop problems approachable." McCormick et al. 1987). Beispiel 2 beschreibt typische Visualisierungstechniken, die damals im ViSC-Umfeld entstanden.

Seit Ende der 90er Jahre ist die Visualisierung auch großer Geodatenmengen auch auf handelsüblichen PCs möglich. Hierdurch ist die 3D-Geovisualisierung heute einem großen potenziellen Anwenderkreis zugänglich. Zunehmend ist Software verfügbar, welche die 3D-Visualisierung in die informationstechnische Infrastruktur der Anwender - bestehend häufig aus Geoinformationssystemen (GIS) und anderen Technologien wie Fernerkundung, CAD u.a. - einbindet.

## Definition der 3D-Geovisualisierung und Visualisierungszwecke

Visualisierung (im Sinne der Informatik) ist die zielgerichtete Transformation von Daten in ein sichtbares Bild zur Unterstützung der Exploration (Erkundung), Kognition (Erkennen) und Explanatation (Erklärung) von Strukturen und Prozessen.

Visualisierung ist damit eine wichtige Methode für den wissenschaftlichen Erkenntnisprozess und zugleich ein Verfahren zur raschen Übermittlung komplexer Informationen von Fachanwendern an Interessen-beteiligte. Schlagworte wie "visuelles Denken", "visuelle Kommunikation", Kreativität durch "visuelles Brainstorming" oder "Virtuelle Realität" sind Indiz für die in den letzten Jahren stark gestiegene Bedeutung der Visualisierung. 3D-Geovisualisierung stellt eine Spezialform der "allgemeinen" Visualisierung dar. Folgende Merkmale kennzeichnet diese:

- Zum einen erfolgt die Visualisierung in einem dreidimensionalen (euklidischen und kartesischen) Darstellungsraum. Mathematisch ausgedrückt heißt dies, dass jeder Punkt in diesem Raum durch die Angabe dreier Koordinaten  $x, y, z \in \mathbb{R}$  beschrieben wird, wobei  $\mathbb{R}$  die Menge der Gleitkommazahlen bezeichnet. Durch die Gleitpunktzahlen werden auf dem Rechner reelle Zahlen näherungsweise dargestellt.
- Die zu visualisierenden Geoobjekte liegen georeferenziert vor. Das heißt, dass die Objektkoordinaten in einem geeigneten geodätischen oder projektiven Referenzsystem vorgehalten werden.  $x$ - und  $y$ -Koordinate der Geoobjekte bezeichnen im Weiteren eine Position auf der Erdoberfläche. Durch die  $z$ -Koordinate sei eine Höhe über einer Bezugsfläche gegeben, beispielsweise Normal Null. Die räumlichen Koordinaten  $x, y$  und  $z$  der Geoobjekte werden unmittelbar auf das Koordinatensystem des Darstellungsraums abgebildet.

Weitere Merkmale der 3D-Geovisualisierung werden an späterer Stelle (Lerneinheit 3) genannt.

Bemerkung: Im Weiteren ist die Betrachtung auf Darstellungen eingeschränkt, in denen die drei Achsen des Darstellungsraums in der beschriebenen Form verwendet werden.

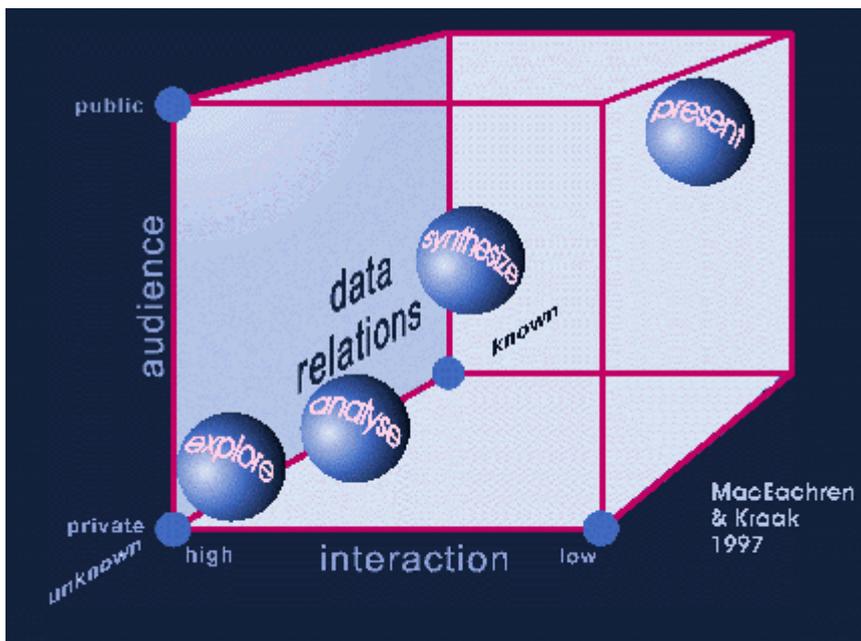
Der Zweck, dem die Visualisierungen dienen sollen, kann variieren. Eine Möglichkeit zur Klassifizierung der verschiedenen Visualisierungszwecke besteht in der Unterscheidung von Analyse, Exploration, Synthese und Präsentation:

- **Analyse:** Die Darstellung dient zur Analyse räumlicher, thematischer und gegebenenfalls zeitlicher Beziehungen in den Daten.
- **Exploration:** Mittels der Darstellung sollen Daten erkundet und neue Hypothesen über Sachverhalte abgeleitet werden.
- **Synthese:** Die Darstellung dient dazu, Modelle aus Einzelteilen zusammenzubauen (z.B. Konstruktionsaufgaben). Derartige Aufgaben stellen hohe Anforderungen an die angebotenen Interaktionsmöglichkeiten.
- **Präsentation:** Die Darstellung dient zur Kommunikation von Information an Außenstehende. Oftmals sind derartige Darstellungen sehr realistisch gestaltet, damit sie von fachlichen Laien "gelesen" werden können. Eine Interaktion ist zumeist nur in sehr beschränktem Maße möglich, da dem Betrachter ein vorgefertigtes Ergebnis präsentiert wird.

Die Kartografen MACEACHREN & KRAAK (1997) lokalisieren diese vier Zwecke in einem Würfel (sogenannter "map cube"), dessen drei Achsen durch den Interaktivitätsgrad der Darstellung, die Adressaten ("öffentlich" vs. "privat") und die Bekanntheit der Beziehungen zwischen den dargestellten Objekten aufgespannt werden.

Die Achsen des Würfels von MacEachren & Kraak (1997) haben die folgenden Bedeutungen:

- Interaktivitätsgrad der Darstellung: Darstellungen mit einem hohen Interaktionsgrad bieten verschiedene Möglichkeiten der Manipulation durch den Betrachter, z. B. neben der freien Bewegung in der Veränderung von dargestellten Objekten.
- Adressaten der Visualisierung: Die mit "audience" betitelte Achse zeichnet sich durch die Gegenpole "privat" und "öffentlich" aus. Privat heißt, d. h. der Anwender arbeitet monologisch ("für sich selbst"). Mit "öffentlich" ist gemeint, dass die Darstellung der Kommunikation von Information an Außenstehende richtet.



**Abbildung 10: MapCube von MacEachren & Kraak, 1997**

Eine eindeutige und/oder exakte Einordnung von Visualisierungen in MacEachren & Kraaks Würfel kann praktisch schwierig sein. Beispielsweise kann eine Visualisierung mehreren Zwecken zugleich dienen oder der Abstraktions- und Interaktionsgrad variieren. Dennoch bietet der Würfel einen in der Praxis zumeist hilfreichen Ansatz zur Grobklassifikation von Anwendungen, so dass das Reden über Visualisierungen vereinfacht wird.

## Kognitive Aspekte der Visualisierung

Das (dreidimensionale) räumliche Sehen beruht auf der Fähigkeit des menschlichen Gehirns, die geringfügigen Unterschiede zwischen den vom linken bzw. rechten Auge gesehenen Bildern zu koordinieren. Stereoskopisches Sehen ist dabei eine Komponente der Tiefenwahrnehmung, jedoch nicht die einzige und nicht immer die wichtigste. Von großer Bedeutung ist insbesondere auch Texturinformation. Zudem tragen Licht-, Reflektions- und Verschattungsphänomene zur räumlichen Form-Wahrnehmung bei. Noch ungeklärt ist, welchen Anteil die verschiedenen optischen Informationsquellen an der visuellen räumlichen Wahrnehmung haben.

Für die Bildgenerierung werden Rendering-Verfahren verwendet, welche die Vorgabe einer Beleuchtungssituation und die Definition verschiedener Eigenschaften für Objektoberflächen wie Reflektivität, Texturierung etc. erlauben. Die Dreidimensionalität des Darstellungsraums und der darin liegenden Objekte ist somit (also auch ohne 3D-Ausgabegeräte) durch den Bet-

rachter gut wahrnehmbar. Auf die entsprechenden Computer-grafischen Verfahren wird in Lerneinheit 2 ("Grundlagen der Computer-Grafik") eingegangen.

Wer mehr erfahren möchte über den menschlichen Sehsinn oder kognitive Aspekte der 3D-Wahrnehmung, dem sei die am Ende dieser Lerneinheit genannte Literatur empfohlen.

Neben Aspekten der Wahrnehmung visueller Information sind beim Aufbau von 3D-Geovisualisierungs-Systemen weitere Kriterien zu berücksichtigen, die mit dem menschlichen Anwender in Verbindung stehen. Hierunter fallen unter anderem

- Konventionen bezüglich der Symbol- und Farbwahl in den Darstellungen (z. B. "Blau für kalte, Rot für warme Temperaturwerte" Link zur Kartografie),
- die Übertragung von Anwenderwissen aus der täglichen Erfahrung auf die Funktionsweise der Software (z. B. die Verwendung der Schreibtisch-Metaphern in der Windows-Benutzerschnittstellen (s. Lerneinheit 6), oder
- die Bereitstellung individueller Interpretationshilfen zur Verbesserung der Lesbarkeit der Darstellung.

## Visualisierungs-Pipeline

Visualisierung lässt sich als ein vierstufiger Prozess bestehend aus

- Selektion (Filterung) der darzustellenden (Roh-) Daten, zum Beispiel Geoobjekte auf einem GIS,
- Generierung von Visualisierungsobjekten (Mapping-Schritt),
- Rendering und
- Anzeige des gerenderten Bildes auf dem jeweiligen Ausgabemedium beschreiben. Haber & McNabb (1990) bezeichnen diesen Prozess als Visualisierungs-Pipeline.

Den genannten Prozessschritten sind weitere Transformationen nachgeschaltet, wie die Bildwahrnehmung und Bildinterpretation durch den Betrachter. Die Visualisierungs-Pipeline ist ein verbreitetes Hilfsmittel zur methodischen Einordnung von Arbeitsschritten und Abläufen in den Gesamtprozess der Visualisierung. Auch im weiteren Verlauf dieses Lernmoduls wird wieder Bezug auf dieses Referenzmodell genommen. Das folgende Beispiel soll die Schritte der Visualisierungs-Pipeline verdeutlichen:

- In einer Geodatenbank ist Information über ein Wohngebiet abgelegt. Bei den einzelnen Geoobjekten handelt es sich um Gebäude, Straßen, Grundstücksgrenzen, Bäume usw. Der Anwender entschließt sich nun, Gebäude und Bäume grafisch darzustellen und wählt diese (z. B. über eine Selektionsanweisung) aus.
- In der Geodatenbank sind nur die Geometrien der darzustellenden Geoobjekte abgelegt, Angaben über visuelle Ausprägungen wie Farben, Musterungen, Beschriftungen oder Baumsymbole fehlen in der Regel (Prinzip der Trennung von geometrisch-thematischer Beschreibung und visueller Ausgestaltung im Umfeld der Geoobjekt-Modellierung). Diese Angaben sind Bestandteil der Visualisierungsobjekte. Thematische Information wie Angaben über die Anzahl der Geschosse eines Gebäudes oder Baumarten hingegen sind weiterhin nur in der Geodatenbank zugreifbar und nicht Bestandteil der Visualisierungsobjekte.
- Aufgabe des Renderings ist es, die Visualisierungsobjekte für die gewünschte Betrachterposition in ein "Bild", z. B. ein zweidimensionales Feld von Pixeln, umzusetzen. Ändert sich die Betrachterposition z. B. in Folge der Bewegung des Betrachters, ist jedes Mal ein neues Bild zu rendern (oben genannte Visualisierungs-

objekte bleiben hiervon jedoch unberührt). Der Rendering-Prozess (als Teilprozess der Visualisierungs-Pipeline) wird unter 2.5 erläutert.

- Der letzte Schritt der Pipeline besteht in der Anzeige des berechneten Bildes auf dem verwendeten Ausgabemedium, z. B. einem Computer-Monitor.

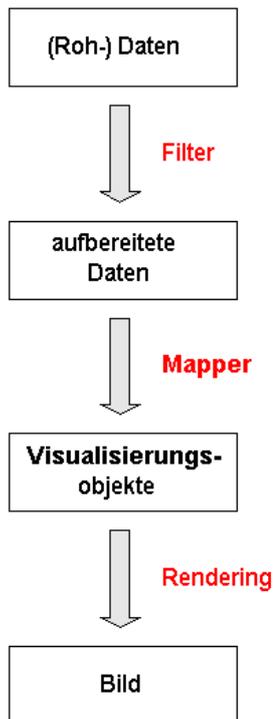


Abbildung 11: Visualisierungs-Pipeline

## **Literatur**

- (1) Mallot, H. A. (1998): Sehen und die Verarbeitung visueller Informationen. Braunschweig/Wiesbaden: Vieweg
- (2) Schumann, H. & W. Müller (2000): Visualisierung : Grundlagen und allgemeine Methoden. Berlin: Springer
- (3) Fisher, P. & D. Unwin, eds. (2002): Virtual Reality in Geography. Taylor and Francis