

# **Eine Konzeption der kartographischen Visualisierung**

von

Dr.-Ing. Gerd Buziek

Von dem Fachbereich  
Bauingenieur- und Vermessungswesen  
der Universität Hannover  
zur Erlangung der *venia legendi* für das Fachgebiet  
„Kartographie und Geoinformatik“  
angenommene Habilitationsschrift.

Vollzug der Habilitation am 26.10.2001

Berichterstatter:

Prof. Dr.-Ing. D. Grünreich  
Prof. Dr.-Ing. habil. C. Heipke  
Prof. Dr.-Ing. habil. D. Morgenstern  
Prof. Dr.-Ing. L. Meng



# Eine Konzeption der kartographischen Visualisierung

Dr.-Ing. G. Buziek

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Sachverhalt und Ziel .....	1
1.2	Zum Inhalt .....	2
<b>2</b>	<b>Allgemeine theoretische Grundlagen der kartographischen Visualisierung</b>	<b>3</b>
2.1	Vorbemerkungen .....	3
2.2	Zur Definition der kartographischen Visualisierung .....	3
2.3	Das theoretische Umfeld der kartographischen Visualisierung.....	5
2.3.1	Theoretische Zusammenhänge .....	5
2.3.2	Ansätze einer umfassenden theoretischen Grundlage der kartographischen Visualisierung .....	8
2.3.2.1	Anforderungen .....	8
2.3.2.2	Der kybernetische Ansatz .....	9
2.3.2.3	Systemtheoretische Betrachtungen .....	11
<b>3</b>	<b>Ausgewählte Grundlagen der Reizperzeption und ihre Bedeutung für die kartographische Visualisierung</b>	<b>15</b>
3.1	Allgemeine Vorbemerkungen.....	15
3.2	Ausgewählte Grundlagen der visuellen Reizperzeption mit Bedeutung für die kartographische Visualisierung .....	16
3.2.1	Einflüsse der Gesichtsfeldgeometrie auf die kartographische Bildschirmgestaltung .....	16
3.2.2	Die Bewegungsperezeption .....	17
3.2.3	Beispiele für physiologische Effekte der visuellen Wahrnehmung als Ursache für interne Wahrnehmungsstörungen.....	20
3.2.4	Bewertung der Physiologie des Gesichtssinnes aus kartographischer Sicht und Einführung der „Veränderung“ als kartographisches Variablenmerkmal .	22
3.3	Perzeption und Verarbeitung akustischer Informationen und ihre Bedeutung für die kartographische Visualisierung .....	24
3.3.1	Allgemeine Vorbemerkungen zum gegenwärtigen Stand der kartographischen Akustikforschung .....	24
3.3.2	Die Perzeption akustischer Reize und ihre primären Merkmale .....	25
3.3.3	Die neuronale Verarbeitung komplexer Schallsignale .....	25
3.3.4	Die Grundformen des hörbaren Schalls und ihre akustischen Variablen .....	26
3.3.5	Tondimensionen und ihre Wahrnehmung .....	26
3.3.5.1	Die Tonhöhe .....	26
3.3.5.2	Die Lautheit .....	27
3.3.5.3	Die Schärfe .....	29
3.3.5.4	Der Rhythmus .....	29
3.3.5.5	Die Schwankungsstärke .....	29
3.3.5.6	Wohlklang und Lästigkeit .....	29
3.3.6	Wirkung von Schallereignissen und ihre kartographische Interpretation.....	30

<b>4</b>	<b>Das Tertiärmodell der Umwelt als Ergebnis der menschlichen Wissensakquisition</b>	<b>33</b>
<b>4.1</b>	<b>Allgemeine Vorbemerkungen</b>	<b>33</b>
<b>4.2</b>	<b>Wissensarten und ihr Einfluss auf die mentale Bildung von Umweltmodellen</b>	<b>33</b>
<b>4.3</b>	<b>Ausgewählte theoretische Grundlagen der mentalen Bildung von Umweltmodellen</b>	<b>35</b>
4.3.1	Psychologische Wahrnehmungsmodelle - geschichtliche Entwicklung und Überblick	35
4.3.2	Die Beschreibung der Wahrnehmung flächenhafter graphischer Darstellungen durch die Gestaltgesetze	36
4.3.3	Die Wahrnehmung dreidimensionaler Räume nach D. Marr	38
4.3.4	Wahrnehmung und Interaktion nach dem Wahrnehmungszyklus	40
4.3.4.1	Grundlagen	40
4.3.4.2	Orientierung und Navigation mit Karten am Beispiel des Wahrnehmungszyklus	42
4.3.5	Die informationsverarbeitende und problemlösende Wahrnehmung	43
4.3.5.1	Funktionale Zusammenhänge	43
4.3.5.2	Kartenlesen und -interpretation als Beispiel für konstruktive Informationsverarbeitung	45
4.3.6	Mechanismen der Wahrnehmung von Primär- und Sekundärmodellen der Umwelt	46
4.3.6.1	Vorbemerkungen	46
4.3.6.2	Bedeutung von Wahrnehmungskonstanzen für die Bildung von mentalen Modellen der Umwelt	46
4.3.6.3	Die kartographische Bedeutung der Größenkonstanz am Beispiel perspektivischer topographisch-thematischer Darstellungen	47
4.3.6.4	Die kartographische Bedeutung der Formkonstanz am Beispiel einer Vergrößerungsoperation	48
4.3.6.5	Die kartographische Bedeutung der Helligkeits- und Farbkonstanz am Beispiel von Geländeschummerungen	49
4.3.7	Mechanismen der mentalen Speicherung von Primär- und Tertiärmodellen der Umwelt	51
4.3.7.1	Vorbemerkungen	51
4.3.7.2	Primäre und tertiäre Modelle der Umwelt als Ergebnis der integrativen und handlungsorientierten Verarbeitung von Geoinformationen	51
4.3.7.3	Organisation und Prinzipien der Speicherung von primären und tertiären Umweltmodellen	53
4.3.7.4	Faktoren und Einflüsse auf mentale Prozesse bei der Generierung von primären und tertiären Umweltmodellen	58
4.3.8	Zeitliche Aspekte der Wissensbildung und die zeitlich-sequentielle Informationsdarbietung	62
4.3.8.1	Allgemeines	62
4.3.8.2	Interaktivität und der Zeitbedarf kognitiver Verarbeitungsprozesse	62
4.3.8.3	Die Bedeutung der zeitlichen Aspekte der Wissensbildung für die Zeichenerkennung und Kartenauswertung	64
<b>4.4</b>	<b>Zusammenfassende Betrachtungen, Bewertungen und Folgerungen zu den Kapiteln 3 und 4</b>	<b>66</b>

<b>5</b>	<b>Grundlagen der Gestaltung neuartiger Sekundärmodelle der Umwelt</b>	<b>69</b>
<b>5.1</b>	<b>Allgemeines</b>	<b>69</b>
<b>5.2</b>	<b>Einflüsse der Kommunikations- und Informationstechnologie auf kartographische Ausdrucksformen und ihre Nutzung</b>	<b>69</b>
5.2.1	Allgemeines	69
5.2.2	Das kartographische Potential ausgewählter Informations- und Kommunikationstechnologien	70
5.2.2.1	2D-Computergraphik	71
5.2.2.2	3D-Computergraphik	72
5.2.2.3	Computeranimation	74
5.2.2.4	GIS-Technologie	74
5.2.2.5	Multimedia-Technik	75
5.2.2.6	Kommunikationsnetze und Netzdienste	75
5.2.2.7	Programmier- und Scriptsprachen	76
5.2.2.8	Virtual Reality	77
5.2.3	Bewertung ausgewählter IuK-Technologien aus kartographischer Sicht	79
<b>5.3</b>	<b>Merkmalsklassifikation neuer kartographischer Ausdrucksformen</b>	<b>83</b>
<b>5.4</b>	<b>Semiotische Aspekte der visuellen und akustischen Gestaltung von kartographischen Sekundärmodellen der Umwelt</b>	<b>87</b>
5.4.1	Vorbemerkungen	87
5.4.2	Grundlagen des kartographischen Zeichensystems und die Diskussion neuerer Erweiterungsvorschläge	87
5.4.3	Die Erweiterung des kartographischen Variablen- und Zeichensystems auf den dreidimensionalen Raum durch Einführung der Variablen „Raumdimension“ und des Zeichenelements „Volumen“	90
5.4.4	Die Erweiterung des kartographischen Variablen- und Zeichensystems um die Zeitkomponente durch Einführung des Variablenmerkmals „Veränderung“	93
5.4.4.1	"Veränderung" als neues Merkmal des kartographischen Zeichen- und Variablensystems	93
5.4.4.2	Veränderungseigenschaften und ihre Verwendung	94
5.4.4.3	Aufmerksamkeitsreaktionen als Folge von graphischen Veränderungen am Beispiel der "Veränderungseigenschaften"	95
5.4.4.4	Vorschlag eines graphisch-temporalen Variablensystems für die Beschreibung statischer und dynamischer Darstellungsformen	97
5.4.5	Die Erweiterung des kartographischen Zeichensystems um akustische Komponenten	98
5.4.5.1	Einführung von akustischen Zeichen	98
5.4.5.2	Einführung von akustischen Variablen	99
5.4.6	Auswirkungen und Anwendungsprinzipien des erweiterten kartographischen Zeichensystems	100
<b>5.5</b>	<b>Interaktion und Interaktivität von multimedialen KIS (MM-KIS)</b>	<b>103</b>
5.5.1	Zu den Begriffen der Interaktion und Interaktivität	103
5.5.2	Die Mensch-Mensch Interaktion	103
5.5.3	Die Mensch-Maschine Interaktion	104
5.5.3.1	Allgemeine Beschreibung und Bedeutung von Interaktivität im multimedialen kartographischen IVS	104
5.5.3.2	Allgemeine Anforderungen und Merkmale der Interaktivität	105
5.5.3.3	Die Interaktion im Wechselspiel von Aufgabenstellungen, Nutzermerkmalen und Suchstrategien	107
5.5.4	Gestalterische Aspekte der kartographischen Interaktion	110
5.5.4.1	Gestaltungsprinzipien	110
5.5.4.2	Beispiele für Benutzungsoberflächen von multimedialen KIS	112

5.5.4.3 Untersuchungen zur Bewertung von Benutzeroberflächen.....	115
<b>5.6 Allgemeine gestalterische Aspekte von multimedialen KIS.....</b>	<b>117</b>
5.6.1 Vorbemerkungen.....	117
5.6.2 Semantische Struktur eines allgemeinen multimedialen kartographischen Informationssystems .....	117
5.6.3 Zur Klassifikation multimedialer Ausdrucksmittel.....	119
5.6.3.1 Gemeinsame Merkmale und Merkmalsdiagramme .....	119
5.6.3.2 Ausgewählte Anwendungsbeispiele .....	121
5.6.4 Zum Entwurf eines MM-KIS .....	125
5.6.4.1 Allgemeine Entwurfsprinzipien.....	125
5.6.4.2 Die Kombination von multimedialen Ausdrucksmitteln .....	126
5.6.4.3 Bemerkungen zur Informationüberfrachtung .....	128
<b>6 Beispiele für die Gestaltung kinematographischer und dynamischer Sekundärmodelle der Umwelt</b>	<b>131</b>
<b>6.1 Vorbemerkungen.....</b>	<b>131</b>
<b>6.2 Beispiele für die Gestaltung kinematographischer Darstellungsformen.....</b>	<b>131</b>
6.2.1 Vorbemerkung.....	131
6.2.2 Entwurf und audio-visuelle Gestaltung der kartographischen Animation eines Überflutungsereignisses.....	132
6.2.2.1 Inhalt und Zielgruppe .....	132
6.2.2.2 Gestaltungsüberlegungen.....	132
6.2.2.3 Gesamtentwurf und Gestaltungsprinzipien .....	132
6.2.2.4 Das Variablensystem der Animation.....	134
6.2.2.5 Aufmerksamkeitssteuerung und die Vermittlung von Legendeninformationen.....	136
6.2.3 Kartographische Animation von Verkehrsströmen im Großraum Hannover als Beispiel für die Veränderung von graphischen Variablen .....	139
6.2.3.1 Vorbemerkungen.....	139
6.2.3.2 Vorstellung und Diskussion von Entwürfen für die kinematographische Darstellung von Verkehrsbelastungswerten .....	140
6.2.4 Interaktion mit kinematographischen Ausdrucksformen .....	144
<b>6.3 Ein Beispiel für die Konzeption und Gestaltung einer dynamischen kartographischen Ausdrucksform für die Visualisierung von Flutszenarien .</b>	<b>146</b>
6.3.1 Besondere Merkmale und zukünftige Bedeutung .....	146
6.3.2 Anforderungen an die Funktionalität .....	147
6.3.3 Geometrische und graphische Modellierung .....	149
6.3.3.1 Die digitale geometrische Modellierung des Geländereiefs.....	149
6.3.3.2 Die graphische Darstellung des DGM mittels Beleuchtungsmodellen.....	151
6.3.3.3 Die graphische Darstellung der Geländeoberfläche durch Texturen .....	152
6.3.3.4 Das Konzept der digitalen Kartometrie und Analyse .....	154
6.3.3.5 Interaktive Analyse des Sekundärmodells eines Überflutungsraumes .....	154

<b>7</b>	<b>Zur experimentellen Untersuchung von kartographischen Sekundärmodellen der Umwelt</b>	<b>159</b>
<b>7.1</b>	<b>Vorbemerkungen</b>	<b>159</b>
<b>7.2</b>	<b>Ein Konzept zur Ermittlung der Kommunikationsleistung</b>	<b>159</b>
7.2.1	Definition der Kommunikationsleistung	159
7.2.2	Entwurf einer Untersuchungsmethodik	160
7.2.2.1	Problematik	160
7.2.2.2	Die Bestimmung von darstellungs- und nutzerbezogenen Einflussparametern	161
7.2.2.3	Abhängige Variablen der Kommunikationsleistung	162
7.2.2.4	Ein Beispiel für die Auswahl von abhängigen Variablen der Kommunikationsleistung	163
7.2.2.5	Zur Ermittlung der Bewertungskriterien	164
<b>7.3</b>	<b>Vorschläge für wahrnehmungstheoretisch ausgerichtete Experimente</b>	<b>168</b>
7.3.1	Vorbemerkungen	168
7.3.2	Untersuchungen zur sensorischen Wahrnehmung	168
7.3.3	Untersuchungen zur kurzzeitigen Wahrnehmung	168
7.3.4	Untersuchungen zur nachhaltigen Wahrnehmung	169
<b>7.4</b>	<b>Vorschläge für nutzerorientierte Experimente</b>	<b>170</b>
7.4.1	Untersuchungen zur Wahrnehmung von Animationen	170
7.4.2	Untersuchungen zur Raumwahrnehmung unter Verwendung von perspektivischen Darstellungen	170
7.4.3	Untersuchungen zur Auswirkung der Funktionalität interaktiver perspektivischer Darstellungsformen auf die Wahrnehmung	171
7.4.4	Untersuchungen zur Interaktivität von kartographischen Darstellungsformen	172
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung/Summary</b>	<b>175</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>179</b>
<b>Anhang: CD-ROM mit Gestaltungsbeispielen und der Digitalversion der Textfassung</b>		

Für *Lisa* und *Fritz*,  
deren Interesse an Computern und Karten nicht unwesentlich  
durch das Verfassen dieser Schrift geweckt wurde.

## **Vorwort und Dank**

Die Arbeit entstand am Institut für Kartographie der Universität Hannover in den Jahren 1994 bis 1999. Sie wurde angeregt von Prof. Dr.-Ing. D. Grünreich, dem langjährigen Institutsleiter und jetzigen Präsidenten des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, dem ich für die Förderung, zahlreichen, intensiven Diskussionen und wissenschaftlichen Ratschlägen an erster Stelle meinen herzlichen Dank ausspreche.

Dank gebührt auch den Kolleginnen und Kollegen aller Fachrichtungen, die mit Fachgesprächen, kritischen Fragen, konstruktiven Anregungen und der praktischen Umsetzung von Konzepten zu dieser Arbeit beigetragen haben. In diesem Zusammenhang ist die äußerst gute Zusammenarbeit mit dem Institut für Informatik der Universität Münster und dem Institut für Kartographie der ETH Zürich besonders hervorzuheben. Eingeschlossen sei hier auch der Dank an die studentischen Hilfskräfte und Diplomanden.

Darüber hinaus war für mich die Mitarbeit in der Commission on Visualization and Virtual Environments der International Cartographers Association sehr inspirierend, zu deren Zielen diese Arbeit einen bescheidenen Beitrag leisten mag.

Den Berichterstattern, Frau Prof. Dr.-Ing. L. Meng, Prof. Dr.-Ing. habil. C. Heipke und Prof. Dr.-Ing. habil. D. Morgenstern, danke ich für die Bereitschaft zur Begutachtung der Schrift und den Mitgliedern der Habilitationskommission für die geleistete Arbeit.

Ein letzter Dank sei an dieser Stelle all denen ausgesprochen, die im privaten Bereich mit Interesse und motivierenden Worten den Werdegang dieser Arbeit verfolgt haben. An erster Stelle ist hier meine Frau Silke zu nennen, die mit hohem Engagement, viel Verständnis und eigenen Entbehrungen mir stets eine zuverlässige Unterstützung war.

Holzkirchen, im April 2001

## **Technische Hinweise**

Aus Kostengründen enthält der Textteil der vorliegenden Schrift ausschließlich unbunte Abbildungen. Sie werden im Anhang und auf der beiliegenden CD-ROM farbig wiedergegeben. Für die Betrachtung des Anhangs ist die Installation des Adobe Acrobat Readers erforderlich.

Die CD-ROM enthält darüber hinaus Beispiele für Animationen. Sie müssen ggf. für die Wiedergabe in Echtzeit zuvor auf die Festplatte kopiert werden. Für das Abspielen sind die Standardprogramme von Windows-Betriebssystemen ausreichend.

# 1. Einleitung

## 1.1 Sachverhalt und Ziel

Die Verarbeitung von Geodaten ist eine Notwendigkeit zur Erfüllung vielfältiger Aufgabenstellungen in Gesellschaft, Politik, Industrie, Wissenschaft und Forschung. Sie setzt die Erfassung räumlicher, zeitlicher und semantischer Umweltdaten voraus, die häufig zu objektstrukturierten Modellen - sog. Geodatenmodellen - der Umwelt aufbereitet werden. Sie beschreiben in digitaler Form die Landschaft, Umweltprozesse und –objekte sowie ihre Beziehungen, Wechselwirkungen und Merkmale.

Für die Nutzer enthalten die Geodatenmodelle Geoinformationen, die sich subjektiv aufgrund unterschiedlicher Intention und unterschiedlichem Wissen ergeben. Damit auch komplexe Modelle möglichst eindeutig und plausibel interpretiert, verstanden und bewertet werden können, ist ein möglichst effizienter Kommunikationsprozess notwendig. Bislang haben sich dafür Karten als geeignete Darstellungs- und Kommunikationsmittel bewährt, da ihr Inhalt zweckorientiert ausgewählt ist und sie gestalterisch auf die hohe Verarbeitungskapazität des visuellen menschlichen Wahrnehmungssinnes besonders ausgerichtet sind.

Seit Beginn der 1990er Jahre bietet die rasch fortschreitende Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK-Technologie) stets neue Möglichkeiten der Geoinformationsübertragung zwischen einem kartographisch genutztem Medium und dem Anwender. Das gesamte Geodatenmanagement (Erfassung, Verarbeitung, Ausgabe und Präsentation) kann - für nahezu jedermann - durch leistungsfähige und preisgünstige Personal Computer (PC) unterstützt werden und neuerdings auch durch internetfähige GIS-Lösungen. Die Ergänzung der materiellen Karte durch digitale und elektronische kartographische Darstellungsformen ist daher nicht nur von Nutzen für wenige Spezialisten, sondern – vor allem bedingt durch Internet- und Multimedia-Technologie – auch von gesellschaftlicher Bedeutung.

Diese Entwicklung bringt Vor- und Nachteile mit sich. So ist einerseits die Chance zur Gestaltung neuartiger und interessanter kartographischer Ausdrucksformen gegeben, die der anzustrebenden Kommunikationseffizienz zuträglich sein sollten; ein durchgreifender Beweis dafür ist jedoch noch nicht erbracht worden. Andererseits birgt der erheblich erweiterte kartographische Gestaltungsraum die Gefahr, Gestaltungsmittel unsachgemäß zu verwenden und dadurch den kartographischen Kommunikationsprozess zu stören. Es ergeben sich Nachteile, von denen einige sind:

- die *Gebundenheit an Computertechnologie*,
- die *Restriktionen der Bildschirmwiedergabe*,
- die *Gefahr der Reizüberflutung* und
- die *Gefahr der unsachgemäßen Gestaltung*.

Vor dem Hintergrund der vielfältigeren Auslastung des menschlichen Wahrnehmungssystems und der sensomotorischen Verarbeitung von Geoinformationen sind jedoch auch Vorteile zu erwarten. Es können u. a. sein:

- die *einfache und intuitive Bedienung kartographischer Informationssysteme (KIS)*,
- die *gezielte Informationsanforderung und –entnahme*,
- die *schnelle Informationsaufnahme durch „natürliche“ Darstellungsformen*,
- die *Verbesserung des Erwerbs von Geo-Wissen*,
- die *universelle Kartenverwendung in einer homogenen Benutzungsumgebung* und

- ein *hohes Maß an Qualität* (z. B. durch *hohe Aktualität*) *moderner kartographischer Darstellungsformen*.

Aufgehoben werden durch die Verwendung moderner Darstellungstechnologien die Beschränkungen analoger kartographischer Darstellungsformen, z. B. auf einen festen Maßstab, einen abgegrenzten Raumausschnitt oder einen unveränderlichen Informationsgehalt. Als Folge davon gewinnen kartographische Darstellungsformen an Aktualität, Flexibilität und Dynamik. Darüber hinaus verändert sich auch ihr Erscheinungsbild, da multimediafähige Computer zusätzlich zum Sehsinn auch die Ansprache des Hörsinns - oder mit speziellen peripheren Ausgabegeräten auch des Tastsinns - ermöglichen. Im Gegensatz zu herkömmlichen Karten ist durch Interaktivität neuer Darstellungsformen und interaktive Nutzung zusätzlich eine Individualisierung der Geoinformationsgewinnung möglich geworden.

Diesem Sachverhalt trägt das bislang verfügbare methodische kartographische Wissen nur bedingt Rechnung, da es weitgehend auf statische kartographische Darstellungsformen und die Verwendung von Graphik ausgerichtet ist. Im Sinne einer auch in Zukunft nutzergerechten und effizienten Kommunikation von Geoinformationen – vor allem mittels internetfähigen Geoinformationssystemen (GIS) - sind daher Untersuchungen zur *theoretischen Weiterentwicklung, multimedialen Gestaltung, Interaktivität* und *zweckmäßigen Verwendung* neuer kartographischer Darstellungsmöglichkeiten notwendig (vgl. Kelnhofer u. a. 2000).

Die wissenschaftliche Untersuchung dieser technologisch bedingten Änderungen und deren Auswirkungen ist Gegenstand der ***kartographischen Visualisierung***. Im Rahmen dieser Arbeit wird dafür ein konzeptioneller Rahmen geschaffen, der die Lösung von wesentlichen Fragestellungen gestattet. Von besonderem Interesse ist die Untersuchung der

- kartographischen Zweckmäßigkeit moderner Medien und Gestaltungsmittel,
- Steigerung der Effizienz und Effektivität kartographischer Informationsvermittlung,
- Gestaltung und Auswirkung von Interaktivität und
- die Ergänzung des kartographischen Zeichensystems und seinen Variablen.

Voraussetzung für die Beantwortung dieser Fragestellungen ist die theoretische Erarbeitung der Zusammenhänge zwischen *menschlichem Handeln durch Interaktion*, der *multimodalen Informationsaufnahme* durch den Gesichts- und Hörsinn und des *Erwerbs von Geowissen*. Zugleich wird damit die Grundlage für die experimentell-empirische Untersuchung neuer kartographischer Darstellungsmöglichkeiten geschaffen.

## 1.2 Zum Inhalt

Die Arbeit beginnt mit einer kurzen Einführung in die Grundlagen der kartographischen Visualisierung mit dem Ziel der Entwicklung eines theoretischen Rahmens für experimentelle Untersuchungen, der die hohe Komplexität neuartiger Darstellungsformen berücksichtigt. In Kapitel 3 und 4 werden wesentliche Aspekte der menschlichen Informationsverarbeitung aufgezeigt, um die Randbedingungen der kartographischen Visualisierung abzuleiten. Es ergibt sich daraus ein erweiterter semiotischer Ansatz der Gestaltung und Nutzung neuartiger Darstellungsformen. Er wird in Kapitel 5 dargestellt und anhand praktischer Anwendungsbeispiele in Kapitel 6 veranschaulicht. Für die zukünftige experimentelle Prüfung der hypothetischen Aspekte wird abschließend in die Problematik experimenteller Untersuchungen konzeptionell eingeführt.

## 2 Allgemeine theoretische Grundlagen der kartographischen Visualisierung

### 2.1 Vorbemerkungen

Die erhebliche Erweiterung des kartographischen Gestaltungs- und Anwendungsraums durch *multimediale Darstellungselemente* und *Interaktivität* lässt die bisher ausschließlich auf Graphik ausgerichteten kartographischen Grundlagen als nicht mehr ausreichend erscheinen (Kelnhofer u. a. 2000). So mangelt es z. B. an einer *allgemeinen* Theorie für die *Kommunikation von Geoinformationen*, die auch *neue* Gestaltungs- und Gebrauchsmöglichkeiten umfasst.

Ein nachhaltiges Konzept für die kartographische Visualisierung erfordert daher einen *theoretischen Rahmen*, der die *Einordnung* und die gegenseitige *Verknüpfung* seiner noch zu ermittelnden wesentlichen Konzeptelemente gestattet.

Aus diesen Gründen werden zunächst ausgewählte Wissenschaftstheorien in Bezug zur kartographischen Visualisierung gebracht; ihr metatheoretisches Zusammenspiel wird unter kartographischen Aspekten diskutiert und mit Hilfe des kybernetischen Ansatzes der *allgemeinen Systemtheorie* in eine Konzeption der kartographischen Visualisierung eingearbeitet.

### 2.2 Zur Definition der kartographischen Visualisierung

Hintergrund für die Prägung des Begriffs „*Kartographische Visualisierung*“ ist ein Forschungsbericht über Visualisierung und wissenschaftliche Computeranwendung, in dem das Konzept der „*Wissenschaftlichen Visualisierung*“ (engl. „*Scientific Visualization*“) entwickelt wurde (McCormick u. a. 1987, zit. von Fisher 1993). Die Diskussionsbeiträge und Interpretationen zu diesem Thema sind vielfältig. Sie umfassen nach McCormick u. a. (1987) die

- *Entwicklung von Werkzeugen, Techniken und Systemen,*
- *Umsetzung von Symbolischem in Geometrisches,*
- *Interpretation von Bilddaten* und die
- *Bildgenerierung für komplexe multi-dimensionale Datensätze.*

Visvalingham (1994) ergänzt diese Liste um die

- *visuelle Datenanalyse,*
- *experimentelle Entwicklung virtueller Welten* und die
- *Erzeugung mentaler und materieller Bilder von gegenwärtig nicht Sichtbarem.*

Weitere Merkmale der kartographischen Visualisierung sind die

- *Unterstützung der Entwicklung von Ideen und Hypothesen über raumbezogene Informationen* (Fisher u. a. 1993) und
- *die dynamische Form des Kartengebrauchs durch Interaktion und Animation* (Peterson 1994).

Vor diesem Hintergrund wird die *kartographische Visualisierung* als *Spezialisierung der wissenschaftlichen Visualisierung auf geo-räumliche Sachverhalte* mit geeigneten Kommunikationsmedien und –mitteln aufgefasst.

Aus kartographischer Sicht umfasst sie den gesamten Bereich der kartographischen Modellbildung einschließlich der GIS-Technologie, mit besonderer Betonung der *bewussten Gestaltung* von Geodaten einerseits, und der *Unterstützung geo-räumlicher Wissensbildung* durch Darstellungsformen, die die Möglichkeiten von Karten erweitern, andererseits (vgl. Buziek 1995, Grünreich 1995, 1997, Wood u. Brodli 1994, Wood 1994).

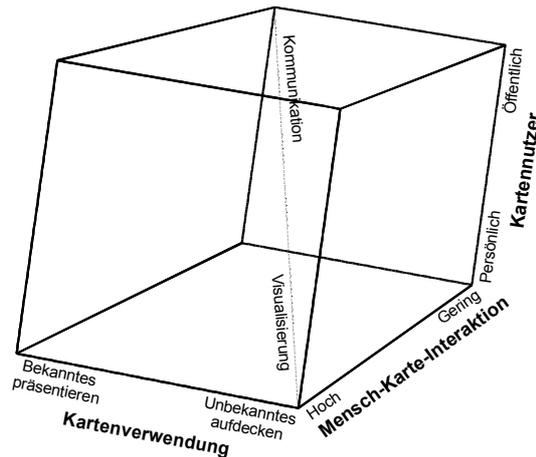


Abb. 2-1: Modellvorstellung der Kartennutzung. (nach: MacEachren 1994)

Der Wirkungsraum der kartographischen Visualisierung wird von MacEachren (1994) herausgestellt. Das wesentliche Merkmal ist die **Interaktion**, die es gestattet, durch eine **dynamische Kartennutzung** gezielt die für den Anwender bisher *unbekannten* Geoinformationen aufzudecken. Hierin liegt ein deutlicher Unterschied zur klassischen Kartographie, in der überwiegend durch *visuell-gedankliche Analyse* Geoinformationen gewonnen werden. Die Unterschiede zwischen der klassischen (visuell-gedanklichen) und der modernen (interaktiven) Kartennutzung werden anhand des „Map-Use-Cube“ verdeutlicht (MacEachren 1994). Er beschreibt das Zusammenwirken der Einflussgrößen „Kartennutzer (persönlich – öffentlich)“, „Mensch-Karte-Interaktion (gering – hoch)“ und „Kartenverwendung (Bekanntes präsentieren - Unbekanntes aufdecken)“ (Abb. 2-1). Charakteristisch für die Visualisierung ist besonders die von hoher Interaktion geprägte *individuelle* Kartennutzung zur Behebung von Wissensdefiziten. Unbekannte Sachverhalte werden sowohl multimedial als auch imaginär visualisiert. Diese Erkenntnisse erschließen sich häufig nicht der Allgemeinheit; sie sind individuell oder auf Kleingruppen beschränkt. Sind sie von Bedeutung für eine größere Nutzergemeinschaft, so geht die Visualisierung in die öffentliche Kommunikation der Geoinformationen über, die häufig nur geringe Interaktion erfordert.

Generell sind Visualisierung und Kommunikation eng miteinander verknüpft. Stets führt der auf die Darstellungsformen ausgerichtete Wahrnehmungsprozess zur Bildung von *Geoinformationen* (subjektive Interpretationen der als Nachrichten kommunizierten Geodaten), die als *Geowissen* nachhaltig im Gedächtnis des Nutzers gespeichert werden. Daraus resultiert eine *Modellvorstellung* über die Umwelt, die als *Tertiärmodell der Um-*

welt bezeichnet wird (Grünreich 1995). Nach Grünreich (1997) lautet daher eine darauf basierende, allgemein gefasste Definition der kartographischen Visualisierung:

*“Die mit der Bildung eines sekundären kartographischen Modells beginnende und bis zum tertiären, gedanklichen Vorstellungsmodell der Umwelt reichende Prozesskette wird als kartographische Modellierung oder Visualisierung bezeichnet”.*

## 2.3 Das theoretische Umfeld der kartographischen Visualisierung

### 2.3.1 Theoretische Zusammenhänge

Die Überlegungen des vorherigen Abschnitts geben Hinweise auf die theoretische Einbettung der kartographischen Visualisierung, die naturgemäß zu einem großen Teil auf die Grundlagen der theoretischen Kartographie zurückgeführt werden kann. Die nachfolgende Analyse vermittelt einen Überblick über die bislang manifestierten Grundlagen und zeigt zugleich Defizite auf, die aufgrund der kartographischen Verwendung neuer Technologien dringend behoben werden müssen (vgl. Buziek 1997b).

Die Beschreibung der komplexen theoretischen Zusammenhänge der kartographischen Visualisierung gelingt am besten über den Einstieg in die **Modelltheorie**. Sie wurde bereits von Board (1967) ansatzweise verwendet, indem er Karten als *Modelle der Umwelt* auffasste und am Beispiel des „Map-Model-Cycle“ ihre Wechselbeziehungen zur Umwelt und dem Kartennutzer herstellte (vgl. Freitag 1971a/b).

Im deutschsprachigen Raum erfuhr sie eine weitere kartographische Interpretation und Weiterentwicklung durch Grünreich (1985). Er differenziert in *drei* Modelle der Umwelt, die zueinander in einer *Folgebeziehung* stehen, und zwar in das durch direkte Umweltbeobachtung gewonnene subjektive und mentale *Primärmodell*, dessen materielle Entsprechung z. B. eine Photographie oder ein Luftbild ist. Eine weitere Repräsentationsform wird als *Sekundärmodell* der Umwelt bezeichnet, sie ergibt sich durch Ableitung aus mentalen oder materiellen Primärmodellen durch bewusste Gestaltung, meist in abstrahierter Form. Die Wahrnehmung der Sekundärmodelle, evtl. in Kombination mit subjektiven Primärmodellen, führt zu den mentalen *Tertiärmodellen*, die aus den subjektiven Geoinformationen in Form von Geowissen gebildet werden. Die modelltheoretische Betrachtungsweise verdeutlicht in Form einer *Metatheorie* besonders die *maßgeblichen Einflüsse* auf die Kommunikation von Geoinformationen und auf die Bildung von Geowissen (vgl. Freitag 1971).

Der *Modellbegriff* findet sich auch in den Ausführungen Ogrisseks (1982) zur Bedeutung der **Erkenntnistheorie** für die Kartographie wieder. Im Gegensatz zu den Entwürfen von Board (1967) und Grünreich (1985) differenziert er - beeinflusst vom dialektischen Materialismus - in *ideelle* und *materielle* Modelle. *Ideelle* Umweltmodelle entstehen entweder durch *direkte* Umweltbeobachtung oder durch den *indirekten* Erkenntnisgewinn mit Hilfe eines *materiellen* Modells, z. B. einer Karte. Im Sinne der neuzeitlichen Erkenntnistheorie werden die Modelle als *objektiv bekannt* und „*wahr*“ betrachtet (vgl. Seiffert und Radnitz-

ky 1994). Die Berücksichtigung der für die kartographische Visualisierung wichtigen *subjektiven* Einflüsse auf den Erkenntnisprozess unterbleibt dadurch.

Durch diesen Verzicht und die Differenzierung von lediglich zwei Modellen lässt sich auf diese Weise die *Beziehung und Funktion von Karte und Gesellschaft* besonders herausarbeiten (Papay 1973), während im Ansatz von Grünreich (1985) vor allem die Abfolge und Wechselwirkungen der Geoinformationsübertragung und die Beschreibung der Einflüsse auf die Bildung von Geowissen im Mittelpunkt stehen.

Die für erkenntnistheoretische Betrachtungen charakteristische Forderung nach Objektivität und der Beschreibung der *bewusstseinsunabhängigen* Wirklichkeit ist zugleich eines ihrer wesentlichsten Probleme. Die Lösungsansätze sind philosophischer Natur und setzen komplizierte Annahmen voraus, die für die praktische Beantwortung der eingangs aufgeworfenen kartographischen Fragestellungen wenig bedeutsam sind (vgl. Seiffert u. Radnitzky 1994). Darüber hinaus ist von einer näheren erkenntnistheoretischen Betrachtung der kartographischen Visualisierung keine Beschreibung der wichtigen, subjektiv ablaufenden primär- oder tertiärmodellbildenden Vorgänge zu erwarten, da der Vorgang der sinnlichen Wahrnehmung erkenntnistheoretisch *nicht* untersucht wird (vgl. Seiffert und Radnitzky 1994). Im Hinblick auf die offenen Fragen der multimedialen kartographischen Gestaltung und des Einflusses von Interaktivität beim Kartengebrauch ist die Erkenntnistheorie eher von marginaler Bedeutung und es bedarf daher der Betrachtung weiterer theoretischer Ansätze.

Zu ihnen zählt die **Informations-** und **Kommunikationstheorie**. Sie ist bedeutsam, da mit ihrer Hilfe der Informationsfluss von einem Sender bis zu einem Empfänger, und somit wichtige Zusammenhänge der Kommunikation von Geoinformationen im Sinne von Transformationen zwischen den o. g. Modellen, beschrieben werden können (vgl. Freitag 1993). Grundlage dafür ist das von Shannon (zit. von Flechtner 1969) eingeführte Schema des *allgemeinen Informationssystems*, das von Board (1967) und Hake (1973) in Bezug zu kartographischen Fragestellungen gesetzt wurde (vgl. Hake und Grünreich 1994). Die IuK-Theorie dient in diesem Fall der Beschreibung der *Transformation des kartographischen Sekundärmodells in das Tertiärmodell des Nutzers*. Besonders herausgestellt wird die Umwandlung der im Sekundärmodell enthaltenen (objektiven) Informationen (i. S. v. Nachrichten) in graphische Zeichen. Dieser Prozess wird als *Informationskodierung* bezeichnet. Eine *Dekodierung* unter Nutzung von vereinbarten Konventionen (z. B. Zeichenvorschrift) findet nutzerseitig statt und ergibt das Tertiärmodell der Umwelt. Bereits 1973 weist Hake auf die *umfassende, über die Graphik hinausgehende* Verwendungsmöglichkeit von Zeichen hin und stellt damit bereits Verbindungen zur kartographischen Visualisierung her.

Er fordert zunächst im Sinne der traditionellen Kartographie, dass

„... das fachliche Hauptinteresse der vorwiegend visuellen Kommunikation zwischen Kartograph und Benutzer mit Einschluss der verwendeten Automaten“ gelten sollte,

und versäumt es nicht in seinen Ausführungen zur Zeichentheorie zu bemerken, dass

„... der Begriff des Zeichens keineswegs auf das beschränkt ist, was sich nur auf optischem Wege wahrnehmen lässt“.

Darüber hinaus weist er auf die Bedeutung der *Sprachtheorie* hin, indem er schließt,

„... dass nicht mehr entscheidend ist, was ein Gegenstand ist oder als was man ihn erkennt, sondern dass es genügt, dass man von ihm spricht“.

Mit diesen Bemerkungen wird bereits die Bedeutung der erst zwanzig Jahre später für kartographische Zwecke verfügbaren multimedialen Formen der Geodatendarstellung unterstrichen und erste Hinweise auf mögliche Verwendungen neuer Darstellungsmöglichkeiten (z. B. digitale Sprachausgabe) gegeben. Sie kann im Extremfall die Objektdarstellung aufgrund der Semantik und des Kontextes ersetzen und so zur graphischen Entlastung der kartographischen Darstellung beitragen.

Die Tertiärmodellbildung ist nicht frei von Störeinflüssen. Sie treten als *externe* oder *interne Störungen* bei der *Kodierung*, der *Informationsübertragung* und der *Dekodierung* auf und verändern den Informationsgehalt des Tertiärmodells gegenüber dem des Sekundärmodells. Ein wesentliches Ziel kartographischer Gestaltung besteht daher darin, Störeinflüsse zu minimieren, so dass eine möglichst hohe Kongruenz zwischen Sekundär- und Tertiärmodell erzielt wird. Dies ist ein wesentliches Kriterium für die *Kommunikationseffizienz*.

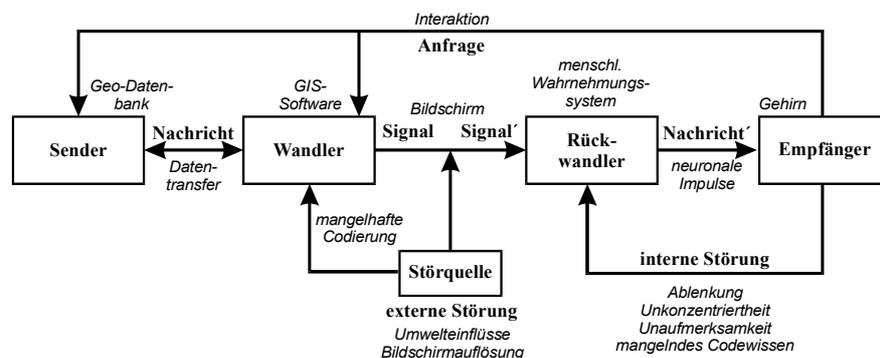


Abb. 2-2: Schematische Darstellung eines Informationssystems mit zugeordneten Komponenten des kartographischen Informationsverarbeitungssystems (nach Flechtner 1969, mit eigenen Ergänzungen)

Die Übertragung dieses Ansatzes auf die Zusammenhänge der kartographischen Visualisierung ist in Abbildung 2-2 dargestellt. Sie ermöglicht die Verbindung von GIS- bzw. IuK-Technologie mit der menschlichen Informationsverarbeitung und integriert dadurch die durch Interaktion verstärkte Mensch-Maschine-Beziehung. Weitere subjektive Einflüsse werden durch die Differenzierung in interne und externe Störungen verdeutlicht. *Externe Störungen* können durch gestalterische und technische Maßnahmen gemindert werden, während *interne Störungen* nur teilweise davon beeinflusst werden können, da sie in hohem Maße individuellen Einflüssen unterliegen. Die Verwendung moderner Darstellungstechnologien kann darauf sowohl positiv als auch negativ wirken (vgl. 3.2.3). Die mit dem Modellbegriff verbundene Abkehr von der möglichst realistischen Darstellung der Umweltvielfalt zugunsten prägnanter Ausdrucksformen mit selektiertem Inhalt bedingt, dass der *Zeichenbegriff* generell eine herausragende Rolle spielt. Die theoretischen Grundlagen dafür werden durch die **Semiotik**, die Lehre von der Zeichenbedeutung, geliefert (vgl. Ucar 1993, Pravda 1993/95, 1997, Wolodtschenko 1997). Sie geht nach Freitag (1971a/b) auf Ch. W. Morris (1938) zurück und ist u. a. die theoretische

Grundlage für Bertins (1967/1981) „*Graphische Semiologie*“, die basierend auf umfangreichen empirischen Studien zur Wahrnehmung *graphischer* Zeichen entwickelt wurde (vgl. 5.4.2). Resultat ist das heute gebräuchliche *kartographische Zeichen- und Variablen-system* mit seinen Assoziationsbeziehungen zur kognitiven Verarbeitung von Graphik (vgl. Hake u. Grünreich 1994, Kraak u. Ormeling 1996). **Es ist ausschließlich graphikorientiert und bislang nicht auf neue, multimediale Darstellungsmittel erweitert worden.** Darüber hinaus sind in der graphischen Semiologie theoretische Grundlagen der Interaktion nicht berücksichtigt, so dass praktisch-empirische und kartographisch motivierte Untersuchungen notwendig sind (vgl. Heidmann 1999, Bollmann u. a. 1999, s. 5.6, Kap. 7).

Um diese Lücke zu schließen, kann einerseits auf Grundlagen zurückgegriffen werden, die moderne, angewandte Wissenschaftsbereiche, wie z. B. die *Medien-* oder *Werbepsychologie*, bereits geschaffen haben (siehe z. B. Hasebrook 1994/95, Stankowski u. Duschek 1989). Andererseits sind diese Ansätze häufig von Intentionen geprägt, die mit den Motivationen der Kartographie wenige Gemeinsamkeiten besitzen. So ist z. B. das Kernziel der Werbung, Aufmerksamkeit und Interesse zu wecken, während eine Karte häufig bewusst und mit einer bestimmten Zielsetzung verwendet wird. In dieser Arbeit wird daher auf die Erkenntnisse *grundlegender* Wissenschaften, z. B. der *Philosophie*, *Psychologie*, *Physiologie* oder *Kognitionsforschung*, zurückgegriffen, um aus dem Studium elementarer Zusammenhänge der menschlichen Informationsverarbeitung Rückschlüsse auf die zweckmäßige Verwendung neuer Gestaltungs-, Darstellungs- und Nutzungsmöglichkeiten zu ziehen.

### **2.3.2 Ansätze einer umfassenden theoretischen Grundlage der kartographischen Visualisierung**

#### **2.3.2.1 Anforderungen**

Im vorhergehenden Abschnitt wurden Theorien in ihrem Zusammenhang dargestellt, die sich als übergreifend und kartographisch nutzbar erwiesen haben, und die – zumindest partiell – auch Gemeinsamkeiten aufweisen. Dadurch entsteht ein umfassendes theoretisches Fundament, das durch eine einzelne Theorie bislang nicht abgedeckt werden konnte. Zugleich wird jedoch deutlich, dass die partiell-selektive Verwendung theoretischer Grundlagen auch Probleme mit sich bringt, die sich z. B. in begrifflicher Dualität zeigen – zuvor dargestellt am Modellbegriff in der Modell- und Erkenntnistheorie. Der Wunsch nach einer *Homogenisierung* und *Integration* der theoretischen Grundlagen ist daher nahe liegend.

Die Untersuchung dieser Fragestellung gewinnt gegenwärtig besonders an Bedeutung, da die wichtigsten Einflüsse auf die kartographische Gestaltung – *Interaktivität* und *Multimedia* – zu einer weiteren Zunahme der Theoriekomplexität führen und damit auch zu einer schwierigeren Handhabung der theoretischen Grundlagen (vgl. Kelnhofer u. a. 2000). Vor diesem Hintergrund soll nachfolgend diskutiert werden, ob die von Freitag (1971a/b) angeregte **kybernetische Betrachtung** kartographischer Fragestellungen zu

einer zusammenhängenden theoretischen Darstellung der kartographischen Visualisierung führen kann.

### 2.3.2.2 Der kybernetische Ansatz

Aufgabe der **Kybernetik** ist die Erforschung von *Struktur, Relationen* und *Verhalten dynamischer Systeme* (Flechter 1969). Die Kybernetik übernimmt im Falle der Kartographie die Funktion einer Hilfswissenschaft, z. B. als Hilfe für die Beschreibung von Zusammenhängen in der Prozesskette der kartographischen Visualisierung. *Vorteil* der kybernetischen Sichtweise ist ihr *umfassender Systemgedanke*, der sowohl auf Maschinen als auch auf Menschen sowie ihre externen und internen Beziehungen angewendet werden kann (Straub u. a. 1997). Vor diesem Hintergrund erscheinen die kybernetischen Grundgedanken auch auf die kartographische Visualisierung anwendbar, die besonders durch das interaktive Wechselspiel von Nutzer und kartographischem Kommunikationsmittel gekennzeichnet ist (vgl. MacEachren 1994, siehe Abb. 2-1).

Ein kybernetisches System ist zugleich ein dynamisches System. Im Falle der kartographischen Visualisierung ist eine wesentliche Systemkomponente einerseits der Nutzer, dessen Wissen und Bedürfnisse *dynamische*, d. h. sich ständig ändernde Systemparameter sind. Andererseits existieren *interaktive* Darstellungsformen, die im Wechselspiel mit ihren Nutzern bedarfsgerecht Geoinformationen durch Exploration vermitteln, und daher auch durch Dynamik charakterisiert sind. Der Vergleich mit einem kybernetischen System *geregelter relationaler Funktionsabläufe* (Regelkreissystem) ergibt sich daraus als logische Konsequenz und ist bereits aus der Abbildung 2-2 anhand der Wirkungsbeziehungen von Interaktion und Informationsübertragung ersichtlich.

Wesentliche Aufgabe ist die Transformation von Geodaten in individuelle Geoinformationen. Informationsverarbeitende Prozesse wirken daher maschinen- und nutzerseitig. Sie beeinflussen maßgeblich die Geoinformationsgewinnung. Für derartige systematische Zusammenhänge wird der Begriff „**Kartographisches Informationsverarbeitungssystem**“ (**KIVS**) eingeführt (vgl. Abschnitt 2.3.2.3).

Ziel eines nach dem Regelkreisprinzip funktionierenden KIVS ist die Angleichung von *Ist-Werten* an *Soll-Werte* (Seiffert und Radnitzky 1994). Aus kartographischer Sicht wird der *Soll-Wert* dieses Systems durch das beim Kartennutzer bestehende *Wissensdefizit* gebildet, das durch die Zufuhr von *Geoinformationen* behoben werden soll. Letztere sind die einzuregelnden *Ist-Werte* des Regelkreissystems. Um dieses Ziel zu erreichen, sind vom Benutzer ausgehende *Interaktionen* notwendig, die der *Regelstrecke* – im technischen Sinne dem **kartographischen Informationssystem (KIS)** evtl. in Verbindung mit einem **Geoinformationssystem (GIS)** – *Stellgrößen* zuführen (Abb. 2-3). Diese Stellgrößen sind gleichzusetzen mit Informationen über das zu behobende Wissensdefizit, z. B. mittels raumbezogenen Abfragen, Selektion und Darstellung bestimmter Thematiken oder andere systemmodifizierende Interaktionen (vgl. 5.6). Im Zuge dieser Kommunikation sind die bereits erwähnten Störungen möglich, die vielfältige Ursachen haben können (z. B. unzureichende Stellgrößen, syntaktisch-semantische Probleme bei der Geoinformationsdarstellung, Probleme bei der KIS-Bedienung) und zu *Regelabweichungen* füh-

ren. Sie treten sowohl nutzerseitig (intern) als auch auf Seiten des kartographischen Informationssystems (extern) auf und haben iterative Systemdurchläufe zur Folge.

Im Zuge der *Regelabweichungsminimierung* wird die Messgröße (Nachricht) vom Nutzer bewertet (Geoinformation) und – falls das Wissensdefizit nicht behoben wurde - eine neue Stellgröße in Form einer weiteren Anfrage dem KIS zugeführt. Verbleiben nach ein- oder mehrfacher Iteration Wissensrestdefizite, so ist das Regelungsziel erreicht und, falls notwendig, wird mit einer anderen Regelstrecke ein neuer Regelkreis gebildet. Im Vergleich mit anderen theoretischen Ansätzen, z. B. der Informations- und Kommunikationstheorie, wird durch die kybernetische Betrachtung der kartographischen Visualisierung besonders die *Interaktion* und *dialogische* Kommunikation zwischen Nutzer und dem KIS herausgestellt.

Es wird dadurch deutlich, dass der Erwerb von Geowissen nach der Regelkreistheorie in hohem Maße von den *Aktionen des Nutzers*, und damit von seinen *individuellen* Leistungen abhängt. Hierbei kommt es nicht nur darauf an, dass die kodierten und vom kartographischen Informationssystem dargestellten Geodaten syntaktisch einwandfrei und semantisch plausibel sind, sondern es gewinnt ein Kommunikationsaspekt an Bedeutung, der bislang in der Kartographie wenig beachtet wurde: *Die Übertragung von Informationen über das zu behobende Wissensdefizit vom Benutzer zum kartographischen Informationssystem und zurück durch Interaktion*. Daraus ergibt sich ein weiterer Hinweis auf die Einflüsse der Kommunikationseffizienz: Sie hängt aus kybernetischer Sicht im Wesentlichen von dem *Regelverhalten* des Regelkreises ab und damit von der dialogischen Kommunikation zwischen Nutzer und kartographischem Informationssystem (Abb. 2-3).

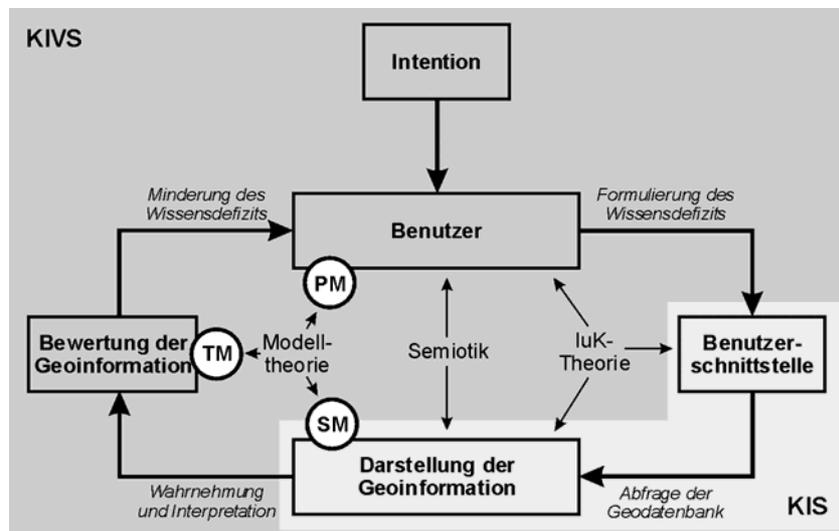


Abb. 2-3: Der kybernetische Regelkreis am Beispiel der dialogischen Kommunikation zwischen Benutzer und kartographischem Informationssystem. Letzteres besteht aus der Benutzerschnittstelle und der Darstellung von Geoinformationen

Unter dem zuvor angesprochenen Kommunikationsaspekt soll an dieser Stelle nochmals auf die bereits erwähnten Feststellungen von *Hake* (1973) hingewiesen werden, die verdeutlichen, dass Geoinformationen nicht ausschließlich graphisch codiert werden müssen. Die kartographische Umsetzung dieser Erkenntnis ermöglicht die heutige Informations- und Kommunikationstechnologie durch *multimediale Informationsdarstellung* und eine daraus folgende *höhere Auslastung der menschlichen Sinne*. Darüber hinaus unter-

stützt die multimodal-redundante Informationsbereitstellung die individuelle Informationsauswahl, so dass dem individuellen Verhalten beim Erwerb von Geowissen in verbesserter Form entsprochen werden kann.

### 2.3.2.3 Systemtheoretische Betrachtungen

Im vorhergehenden Abschnitt wurden mit Hilfe des kybernetischen Ansatzes eines Regelkreises *Ursache* und *Ablauf* der dialogischen Kommunikation zwischen Nutzer und Kommunikationsmittel beschrieben. Dabei ist verdeutlicht worden, dass eine *disziplinübergreifende* Betrachtung der kartographischen Visualisierung aufgrund der zunehmenden Komplexität – vor allem bedingt durch Multimedia und Interaktivität – notwendig ist. Diese Forderung ist nicht neu. Bereits 1977 zeigte *Freitag* auf, dass die Dynamik komplexer Organisationsformen – zu denen auch Karten zählen – neue Ansätze für ihre Beschreibung erfordert. Die allgemeine Systemtheorie ist ein derartiger Ansatz. Er wurde von *Freitag* (1977) verwendet, um einerseits die Komplexität von Karten zu systematisieren, andererseits Karten als Elemente eines weiteren, offenen Systems zu betrachten (i. S. eines KVIS, vgl. 2.3.2.2). Vor dem Hintergrund der kartographischen Nutzung weltweiter Computernetze durch Interaktion und einem zunehmend dynamischeren Erscheinungsbild von kartographischen Ausdrucksformen bedingt durch Interaktivität soll nachfolgend dieser Ansatz wieder aufgegriffen werden. Ziel ist zu prüfen, ob die **allgemeine Systemtheorie** als Grundlage für Untersuchungen zur kartographischen Visualisierung genutzt werden kann.

Die **allgemeine Systemtheorie** hat in der Kybernetik zahlreiche Anwendungen auf technische, biologische und gesellschaftliche Systeme erfahren (Seiffert und Radnitzky 1994, Müller 1996, Glaser 1997). Sie ist die Kerntheorie der Kybernetik und verstärkt die ganzheitliche Betrachtungsweise von Systemzusammenhängen, so dass im Gegensatz zur analytischen Betrachtung von Einzeldisziplinen schon im Ansatz disziplinübergreifende Lösungen angestrebt werden können.

Nach *Rapoport* (1988) besteht ein *allgemeines System* aus *Teilen* und *Wechselbeziehungen*, die in ihrem Zusammenspiel *eigene, existentielle Systemeigenschaften* ergeben, die für jedes System charakteristisch sind (siehe auch *Seiffert* und *Radnitzky* 1994). Im Falle des **KVIS** können – unter Rückgriff auf die theoretischen Betrachtungen unter 2.3.1 – die folgenden „*Teile*“ bzw. *Hauptmodule* identifiziert werden: Es sind

- der **Mensch** in seinen Funktionen als Umweltfachmann, Kartograph oder Kartennutzer, der für seine Handlungsziele Geoinformationen benötigt und sie sinnesphysiologisch und kognitiv auf der Basis seines Weltwissens in Primär- oder Tertiärmodelle der Umwelt verarbeitet;
- der für die IuK-Technologie und kartographische Visualisierung typische **Computer** (Maschine) in seinen Funktionen als Werkzeug für die Herstellung von kartographischen Darstellungen, als Betriebsmittel für Informationssysteme, als Kommunikationsmedium in verteilten Systemen (Inter- oder Intranet) und als Kommunikationsmittel mit kartographischer Nutzung sowie

- die **Modalität** als eine dritte wesentliche Komponente. Sie umfasst die **Kodierung** und informationsartspezifische Aufbereitung von Geodaten mittels Zeichen und modellhaften Darstellungen zur Ansprache unterschiedlicher Sinneskanäle unter Verwendung von wissensbildenden Grundprinzipien wie *Redundanz*, *Komplementarität* und *Inferenz* (vgl. 4.3.7).

Zusammen mit der Ausrichtung auf zu lösende **Aufgaben** ergibt sich als Ursache für die *Systemexistenz* der Bedarf des Menschen an Geoinformation und als *Systemzweck* ihre Übertragung und Verarbeitung (vgl. die Systemanforderungen nach *Rapoport* (1988)).

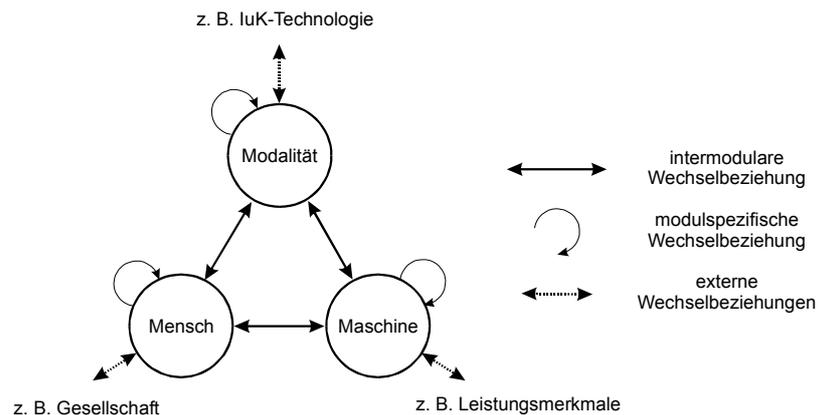


Abb. 2-4: Systemzusammenhänge der kartographischen Visualisierung

Damit das System seine *Funktion* erfüllen kann, müssen seine Module interagieren (Abb. 2-4). Derartige Systeminteraktionen können *intern* (*modulspezifisch*, *intermodular*) und *extern* ablaufen.

- **Modulspezifische** Interaktionen finden innerhalb der jeweiligen Systemkomponente statt. Von großer Bedeutung sind innerhalb des Moduls „*Mensch*“ vor allem die *perzeptiven* und *kognitiven* Wahrnehmungsvorgänge, die zum Erwerb von Geowissen führen. Zuzuordnen sind ferner z. B. Diskussionen unter den Beteiligten eines Planungsvorhabens oder zwischen Kartograph und Kartennutzer zwecks Lösung von gestalterischen oder inhaltlichen Fragen. Im Modul „*Computer*“ findet z. B. der Datenaustausch zwischen den Rechnern einer vernetzten Umgebung und die rechnergestützte Visualisierung von Geodaten innerhalb eines KIS oder GIS statt; und die „*modalitätsspezifische Geoinformationsdarstellung*“ ist gekennzeichnet durch die kombinierte Verwendung von Darstellungsmitteln für die akustische und graphische Präsentation von Geodaten.
- **Intermodulare** Interaktionen unterstützen die Kommunikation zwischen unterschiedlichen Systemkomponenten. Typische Beispiele dafür sind die *Mensch-Maschine-Kommunikation* zwecks Abfrage von Geoinformationen, das Perzipieren und kognitive Verarbeiten der modellhaft signaturierten und symbolisierten Geodaten als Beispiel für die *Mensch-Zeichen-Kommunikation*, die automatisierte Visualisierung von Geodaten durch Zugriff auf eine Geodatenbank unter Anwendung von Präsentationsvorschriften und die Nutzung von statischen, kinematographischen und dynamischen Darstellungsformen (5.3).

- **Externe** Interaktionen treten auf, wenn das System zur Erfüllung seiner Aufgaben weitere Informationen von Außen benötigt oder nach Außen abgibt. Vorwiegend trifft dies für die Module „Mensch“ und „Computer“ zu (Tab. 2-1).

Das KIVS kann - den Ansätzen von *Rapoport* (1988) folgend - als *stabiles System* betrachtet werden, da es nach begrenzten Änderungen der Module und Relationen weiterhin seine *Identität* behält, und zwar auch unter Änderung der Randbedingungen. Diese können z. B. beeinflusst sein von Umwelt- und sozio-ökonomischen Veränderungen, die die Entwicklung und Umsetzung von Steuerungs- und Lenkungsmaßnahmen auch mit kartographischen Kommunikationsmitteln erfordern. Die Informations- und Kommunikationstechnologie unterstützt die Lösung dieser Aufgabe, wobei sich die Möglichkeiten der Informationsdarstellung und –verbreitung ständig verändern und weiterentwickeln, gewisse Merkmale jedoch bestehen bleiben (siehe Tab. 2-1).

	Mensch	Maschine	Modalität
Mensch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mensch-Mensch Interaktion, <b>Beispiele:</b></li> <li>• Fachmann – Kartograph</li> <li>• Kartograph – Nutzer</li> <li>• Nutzer – Nutzer usw.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mensch-Maschine Interaktion</li> <li>• <b>Einflüsse:</b></li> <li>• Informations <ul style="list-style-type: none"> <li>-bedarf</li> <li>-dargebot</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mensch-Maschine Interaktion; <b>Ziele:</b></li> <li>• Informations <ul style="list-style-type: none"> <li>-darstellung</li> <li>-übertragung</li> <li>-erläuterung</li> </ul> </li> </ul>
Maschine		<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Aufgaben:</b></li> <li>• Informations <ul style="list-style-type: none"> <li>-speicherung</li> <li>-verbreitung</li> <li>-übertragung</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Auswirkungen auf:</b></li> <li>• Darstellungsmittel</li> <li>• Ausdrucksformen</li> </ul>
Modalität			<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>GI-Darstellung:</b></li> <li>• Kombination von Darstellungsmitteln</li> <li>• visuell – akustisch</li> <li>• statisch – dynamisch</li> </ul>
Externe Einflüsse	z. B. Veränderung der Informationsgewohnheiten durch Nutzung anderer Medien oder andere gesellschaftliche Bedürfnisse oder Beziehungen zur Umwelt	z. B. preisgünstige Rechner oder Internetzugang für jedermann	z. B. neue Entwicklungen der Informations- und Kommunikationstechnologie

Tab. 2-1: Ausgewählte intermodulare und modulspezifische Wechselbeziehungen im kartographischen Informationsverarbeitungssystem

Vor diesem Hintergrund kann der Mechanismus der *Systemidentität* nur in einer Systemkomponente begründet sein, die sich trotz des aufgezeigten Wandels weitgehend konstant verhält: Es ist der *Mensch* in seiner Eigenschaft als Adressat und aktive *informationsverarbeitende* Komponente (vgl. Anderson 1988). Die Funktionsweise und die Fähigkeiten seines Wahrnehmungssystems können als konstant betrachtet werden, auch wenn sein Wissen, Können und seine Erfahrungen ständigen Änderungen unterworfen werden. *Peterson* (1984) verwendet dafür den Begriff "*menschliches geographisches Informationssystem*". Weitere invariante Systemparameter sind:

- die *Geoinformation* als Kommunikationsgegenstand,
- die von *Freitag* (1993) aufgezeigten typischen *Kartenfunktionen* und
- die *zweckorientierte Bereitstellung* von Geoinformationen.

Zugleich sind diese Merkmale kennzeichnend für die ebenfalls von *Rapoport* (1988) geforderte *Zielgerichtetheit*, die sich bei dem KIVS in der Kommunikation von Geoinformationen zeigt.

Aufgrund der komplexen Zusammenhänge ist zudem eine *Systemorganisation* notwendig, die einerseits das System als solches kennzeichnet und andererseits für den Systembetrieb benötigt wird. Sie ist nach *Rapoport* (1988) abhängig vom Informationsgehalt und mit ihm positiv korreliert. Ein *hoher Informationsgehalt* bedingt demnach eine *weitgreifende Organisation* (Komplexitätsprinzip, vgl. 4.3.5.2). Lässt sich dies nicht umsetzen, so ist das System nicht identifizierbar und damit nicht nutzbar. Diese Anforderung richtet sich in gleichem Maße an die technologischen Infrastrukturen und die geodatengestaltenden Maßnahmen.

Organisation wird erreicht durch die Identifikation und Anwendung von Regeln und Prinzipien, die im Falle des KIVS aus den Mechanismen des Moduls Mensch abgeleitet werden können (Kapitel 3 und 4). Sie sollen dem Nutzer das Erreichen seiner Ziele möglichst einfach gestatten, ggf. auch mit einem Minimum an Wissen. Die Systemorganisation hat sich daher zu orientieren an

- den *Bedürfnissen* und *Aufgabenstellungen* der Nutzer,
- dem *Informationsdargebot* (Angebot, Gestaltung, Verbreitung, Interaktionsfunktionalität) und
- der *verfügbaren Informations- und Kommunikationstechnik*.

Vor dem Hintergrund der bislang angestellten systemtheoretischen Betrachtungen ergibt sich für ein KIVS die folgende, vorläufige Definition:

*Das kartographische Informationsverarbeitungssystem (KIVS) hat den Zweck, unter Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologie Ausdrucksformen für die Kommunikation von Geoinformationen bereitzustellen. Sie sollen helfen, die jeweiligen individuellen Informationsbedürfnisse der Nutzer zu befriedigen und zu einer Lösung von raumbezogenen Problem- und Fragestellungen führen.*

### 3 Ausgewählte Grundlagen der Reizperzeption und ihre Bedeutung für die kartographische Visualisierung

#### 3.1 Allgemeine Vorbemerkungen

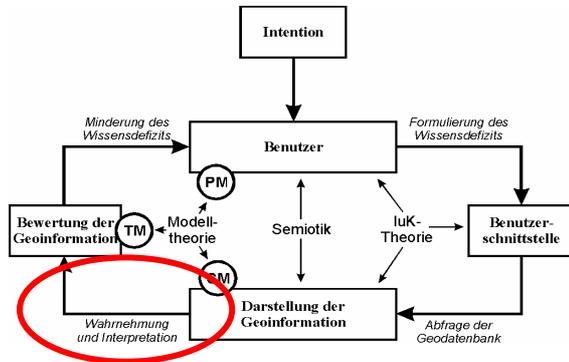


Abb. 3-1: Tertiärmodellbildung als Folge von Wahrnehmung und Interpretation

Die Transformation eines kartographischen Sekundärmodells in ein mentales Tertiärmodell der Umwelt beginnt mit der Umwandlung der vom Gesichtssinn rezipierten physikalischen Signale in neuronale Impulse (Albertz 1997). Im Sinne des KVIS ist dieser Prozess eine direkte Wechselbeziehung zwischen den Modulen „Mensch“ und „Modalität“ mit Unterstützung durch das Modul „Maschine“.

Für diese Wechselbeziehung im Sinne der kartographischen Visualisierung ist besonders der **visuelle Gesichtssinn** bedeutend, dessen Fähigkeiten die Gestaltung statischer und gedruckter Karten stets bestimmen. Kartographische Ausführungen finden sich unter unterschiedlichen Aspekten u. a. bei Koch (1988), MacEachren (1995), Dent (1997) und Malic (1998).

Besonders zur kartographischen Verwendung von **Farbe** besteht naturgemäß ein umfangreiches kartographisches Wissen. Es ist enthalten in den einschlägigen Lehrbüchern (z. B. Hake u. Grünreich 1994, Dent 1998). Darüber hinaus sind in den letzten Jahren Berichte über Forschungsarbeiten erschienen, die in Form von *Regelwerken* Hinweise zur kartographischen Verwendung von Farbe geben (Brewer 1994, Green u. Horbach 1999). Mit konkretem Bezug zur *digitalen* Kartographie behandelt Schoppmeyer (1991, 1993) das Thema Farbe. Andere Einzelbeiträge behandeln Detailfragen; z. B. beschäftigen sich Jiang, Brown u. Ormeling (1996) mit der Darstellung von Unsicherheit durch Farbe. Generell muss festgestellt werden, dass internationale kartographische Beiträge zum Thema *Farbe* rückläufig sind und offensichtlich nicht mehr im primären Forschungsinteresse stehen (vgl. ICA 1995, 1997, 1999).

Zugleich zeigt sich, dass die Wahrnehmung von *dynamischen* und *perspektivischen Darstellungen* mit *bildschirmgebundenen Medien* in Verbindung mit den physiologischen Grundlagen des Sehens bislang nur wenig beachtet wurden. Diese Aspekte werden daher in diesem Kapitel behandelt. Ausnahmen davon sind die Betrachtungen von Sieber (1996) zur Wahl optimaler Perspektiven für die Darstellung von Blockbildern und von Malic (1998) zur Auswirkung von Bildschirmen - in ihrer kartographischen Funktion als Zeichenträger - auf die Darstellung herkömmlicher kartographischer Zeichenelemente.

Die Literaturrecherchen zeigen auch, dass trotz einer Vielzahl von Beiträgen zur kartographischen Nutzung von Multimedia, z. B. Cartwright (1994, 1999), Freibichler (1995), Dransch (1997b), Cartwright, Peterson, Gartner (1999), Buziek (1999), Hurni, Bär, Sieber

(1999) und *Miller* (1999) eine kartographisch ausgerichtete Aufarbeitung der physiologischen Grundlagen des **Hörsinns** und der psychologischen Wirkung von akustischen Informationsdarstellungen im kartographischen Schrifttum bislang fehlen, obwohl kartographische Anwendungsmöglichkeiten bereits von *Krygier* (1994) diskutiert wurden. Vor diesem Hintergrund befindet sich eine entsprechende Einführung in diesem Kapitel, das zugleich die *primären* Grundlagen enthält für die noch ausstehende Erweiterung des kartographischen Zeichensystems um akustische Elemente (5.4.5).

## 3.2 Ausgewählte Grundlagen der visuellen Reizperzeption mit Bedeutung für die kartographische Visualisierung

### 3.2.1 Einflüsse der Gesichtsfeldgeometrie auf die kartographische Bildschirmgestaltung

Die Schnittstelle zwischen den Modulen *Mensch* und *Maschine* ist i. d. R. der **Bildschirm**. Er hat daher zentrale Bedeutung. Die Wahrnehmung seines Inhalts wird durch die Physiologie des visuellen Systems bestimmt. Hier ist die wichtigste Einflussgröße das **Gesichtsfeld**; es ist der Bereich, in dem Objekte *räumlich* und *selektiv* wahrgenommen werden (vgl. *Tittel* 1994, *Guski* 1989). Nachfolgend wird daher der Frage nachgegangen, welcher Gestaltungseinfluss sich aus der Korrelation von Bildschirm und Gesichtsfeld ergibt.

Die Objektwahrnehmung ist abhängig von der *Art* (bewegt, unbewegt) und *Gestalt* der Objekte (Form, Farbe, Füllung) und zusätzlich von ihrer *relativen Position im Gesichtsfeld*. Ursache dafür ist die Anordnung und Funktion der ca. 120 Millionen Photorezeptoren auf der Netzhaut. Sie nehmen eine *Reizvorverarbeitung* in der Netzhaut vor, die zur Detektion von *Kontrasten, Kanten, Formen, Farben* und *Bewegungen* führt (*Stryer* 1990, *Tittel* 1994, *Schmidt* 1998). Sie werden durch den Sehnerv in die Hinterhauptsrinde des Gehirns weitergeleitet und dort kognitiv verarbeitet (vgl. *Anderson* 1988, *Guski* 1989, *Mishkin* u. *Appenzeller* 1990, *Zimbardo* 1995, *Seitelberger* 1997, *Schmidt* 1998).

Der Gesichtssinn deckt beim binokularen Sehen einen Bereich von 90° nach links und rechts, 55° nach oben und 65° nach unten ab. Das *Zentralgesichtsfeld* umfaßt ca. 10°, der Bereich des schärfsten Sehens 2°. Die retinale Auflösung beträgt zwischen 2,4 µm im Bereich des Gelben Flecks und 5,0 µm in den anderen Netzhautbereichen (siehe z. B. *Schmidt* 1998).

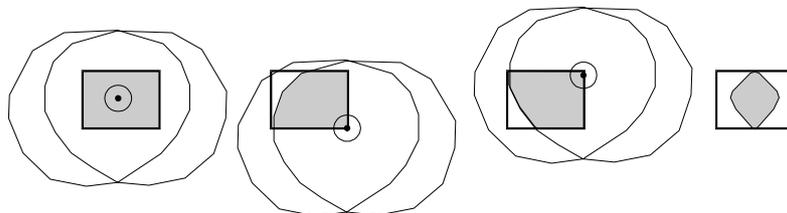


Abb. 3-2: Binokulare Sichtbereiche bei Betrachtung eines Bildschirms mit 20“ Bilddiagonale (Betrachtungsdistanz 40 cm). Die grau hinterlegten Bereiche zeigen die binokular wahrgenommenen Bildschirmflächen. Ständig binokular sichtbar trotz Fokussierung unterschiedlicher Bildschirmbereiche (hier: Bildschirmecken) ist ein rautenförmiger Sektor in Bildschirmitte.

Aufgrund der Gesichtsfeldgeometrie liegt ein für kartographische Arbeiten üblicher 20“-Bildschirm bei normaler Betrachtungsdistanz stets im Gesichtsfeld. Lediglich bei der Fokussierung von Bildschirmereichen werden ihre diametralen Bereiche nur monokular wahrgenommen, so dass die Erkennung von kartographischen Objekten eingeschränkt ist. Stets binokular sichtbar ist trotz Blickbewegung ein rautenförmiger Bereich in der Bildschirmmitte (Abb. 3-2), in dem unabhängig von der fokussierten Bildschirmposition Objekte deutlich wahrgenommen werden.

Diese Tatsache muss bei der multimedial-kartographischen Gestaltung von Bildschirmdarstellungen und ihrer Bedienungsumgebung (Nutzer-KIS-Interface) berücksichtigt werden, da i.d.R. nicht bekannt ist, welche Bildschirmbereiche der Nutzer visuell abtastet. Neu eingeblendete Informationen sollten daher höchste Aufmerksamkeit erfahren, damit sie sicher erkannt werden. Ihre Positionierung nahe der Bildschirmmitte stellt dies sicher.

Sollten gestalterische oder datenbeeinflusste Gründe dennoch die Positionierung von Informationen in den Randbereichen erfordern, so sind weitere gestalterische Maßnahmen für die sichere Erkennung notwendig. Von Nutzen ist dafür z. B. die Erkenntnis, dass der periphere Bereich des Sehfeldes besonders empfindlich für die *Wahrnehmung schneller Bewegungen* ist (Anderson 1989, Schmidt 1998). Mit Hilfe von Multimedia-Technologie kann dieser Effekt gezielt genutzt werden, z. B. durch Darstellung von Signaturen mit sich verändernden Eigenschaften (Farbe, Blinken), die den Eindruck von *Bewegung* oder *Veränderung* hervorrufen. **Die Bewegungswahrnehmung ist daher nun auch kartographisch bedeutsam geworden.**

### 3.2.2 Die Bewegungspertzeption

Kartographische Multimediarstellungen sind häufig geprägt von *Dynamik*. Sie bewirkt die *ständige Veränderung der Bildschirmdarstellung* und darüber hinaus auch ihrer Darstellungselemente, wie z. B. Symbole und Signaturen. Diese neuen Darstellungsmöglichkeiten haben zu einer Reihe von Betrachtungen zur kartographischen Verwendung von *Computeranimationen* geführt (z. B. ICA 1996, Dransch 1997a, Buziek u. a. 2000). Diese Darstellungsformen können entweder als *eigenständig* oder in eine übergeordnete Darstellung *integriert* betrachtet werden.

**Bewegung** ist ebenso wie *Form* und *Farbe* eine eigene, unabhängige Sehqualität (Seitelberger 1997). Die Bewegungswahrnehmung setzt *kontinuierliche Abbildungsveränderungen* auf der Netzhaut voraus und bedient sich zusätzlich der Reduktion der Abbildung auf *invariante Strukturen* und *Markierungspunkte*, die einer dynamischen Korrelation unterzogen werden (Albertz 1997, Seitelberger 1997). *Leuchtdichte*, *Distanz*, *Objektgröße* und *Bewegungsrichtung* sind die wesentlichen wahrnehmungsbeeinflussenden Parameter (Lachenmayr 1995).

Die Wahrnehmung *schneller Bewegungen* (bezogen auf das Auge ergeben sich durch die Objektbewegung mehrere Bogengrad in 500 msec) erfolgt im peripheren Gesichtsfeld und setzt *keine* Objektfokussierung voraus. Schnelle Bewegungen ziehen *Aufmerksamkeitsreaktionen* nach sich und eignen sich als kartographisches Element daher primär zur Steuerung des Nutzerverhaltens. Die Wahrnehmung *langsamer Bewegungen* hingegen setzt die *bewusste* Objektselektion und eine *annähernde* Objektfokussierung voraus.

Eine Objektbewegung von 1 bis 2 Bogenminuten je Sekunde ist für die sofortige Erkennung notwendig. Maximal können Bewegungen bis zu 15 Bogenminuten in 60 msec wahrgenommen werden. *Stationäre Bewegungen* im Sinne von *Veränderungen* (Aufleuchten, Blinken usw.) bis 3 Hz verzeichnen einen *hohen Auffälligkeitswert*, während 6 Hz bis 10 Hz als *störend* empfunden werden. Vertikale Bewegungen werden vor horizontalen Bewegungen wahrgenommen; hinzu kommt eine Präferenz des oberen Gesichtsfeldes (Schmidt 1998, Lachenmayr 1995).

Die bewusste Wahrnehmung bewegter Objekte wird durch *Augenbewegungen* unterstützt, die aus *Sakkaden* und ihren Folgebewegungen bestehen. Die sakkadischen Bewegungen dienen der *Fixation*. Sie werden in einer Zeitspanne von 15 – 100 msec ausgeführt und liegen zwischen 3 Bogenminuten und 90 Bogengrad. Sie setzen mit einer Latenzzeit von 200 msec nach den entsprechenden Stimuli ein. Die Latenzzeit reduziert

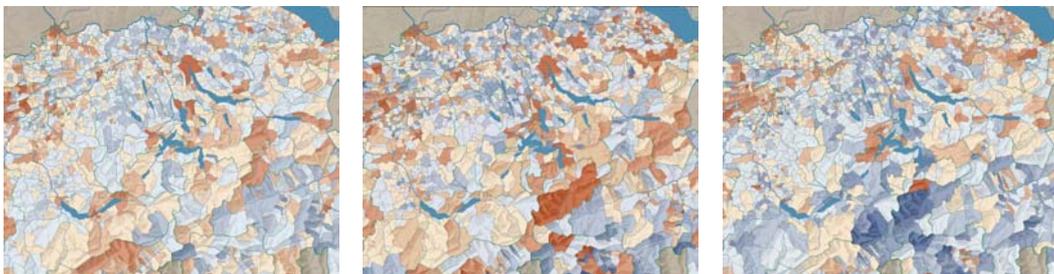


Abb. 3-3: Diskontinuierliche Abbildungsveränderung hemmt die Bewegungserkennung und führt zur Wahrnehmung von sprunghaften anstatt kontinuierlichen Veränderungen (©Atlas der Schweiz, siehe CD-Beispiel1). Das Auge reagiert darauf mit sakkadischen Bewegungen.

sich auf 70 msec bei *zielgerichteter Aufmerksamkeit*, die z. B. durch *visuelle Extremreize* (plötzlich auftretende Veränderung) oder *bewusster Betrachtungsänderung* hervorgerufen werden kann. Weitere Augenbewegungen dienen z. B. der *Zielverfolgung* bewegter Objekte (sog. Folgebewegungen). Sie sind möglich mit einer Genauigkeit von 1 Bogengrad und einer maximalen Geschwindigkeit von 100 Bogengrad/sec. Die Latenzzeit beträgt in diesem Fall 100 – 150 msec.

Beispiel 3-3 (CD-Beispiel1) zeigt wie sich "Veränderung" als kartengestalterisches Mittel auf die Wahrnehmung auswirkt. In Form einer kartographischen Animation wird die prozentuale Zu- und Abnahme der Bevölkerungszahlen in Gemeinden der Nord-Schweiz veranschaulicht. Die für die Wahrnehmung wichtigen *Invarianten* sind die Gemeindegrenzen; die Veränderung der Gemeindebevölkerung wird durch unterschiedliche gestufte Flächenfarben dargestellt. Rottöne kennzeichnet die Zunahme und Blautöne die Abnahme der Gemeindebevölkerung. Zu- und Abnahme wechseln in den Gemeinden ständig und damit auch die Farbtöne. Es ergeben sich daher stationäre Farbsprünge und die Veränderungsdarstellung erscheint wenig organisiert. Der Eindruck einer kontinuierlichen räumlichen Veränderung entsteht nicht, so dass eine animierte Darstellung wenig sinnvoll ist. Stattdessen bewirkt die Vielzahl von stationären Farbveränderungen Aufmerksamkeitsreaktionen und Irritationen im Sinne von Störungen (vgl. 2.3.2).

Dieser Sachverhalt ändert sich, wenn *räumlich zusammenhängende Veränderungen* deutlich werden, die auf *Trends* beruhen. Voraussetzung dafür ist die selektive Betrachtung

tung von Flächen. Kontinuierliche Farbveränderungen werden als „Bewegung“ eines Objektes erkannt, und in diesem Fall als Landflucht im Großraum von Zürich interpretiert.

Ein weiteres Beispiel soll zeigen, wie die Verbindung zwischen reaktionsauslösenden Reizen und Verhaltensänderungen kartographisch genutzt werden kann. Dieser Zusammenhang ist aus der Lerntheorie als *Kontiguität* bekannt (Schermer 1991). Einer ihrer Mechanismen ist die *Konditionierung*, mit der bewirkt werden kann, dass bestimmte Reize bestimmte Reaktionen auslösen. Die oben eingeführten *stationären Bewegungen* bzw. *Veränderungen* können zu diesem Zweck genutzt werden, in dem sie z. B. in einem kartographischen Informationssystem stets in Verbindung mit neu erscheinenden Informationen verwendet werden. Dabei ist gestalterisch grundsätzlich so vorzugehen, dass eine deutliche Diskriminierung der Konditionsreize von der visuell-akustischen Darstellung des KIS erfolgen kann.

In der Abbildung 3-4 werden als Ergebnis einer Suchabfrage Signaturen mit dem Logo der Deutschen Telekom eingblendet. Dies kann auf unterschiedliche Weise geschehen, z. B. *plötzlich*, *kontinuierlich* oder *blinkend*. (siehe CD-Beispiel 2a bis d). Dies erzeugt Aufmerksamkeit und dem Nutzer wird dadurch eine zeitaufwendige Signatursuche im Kartenbild erspart.

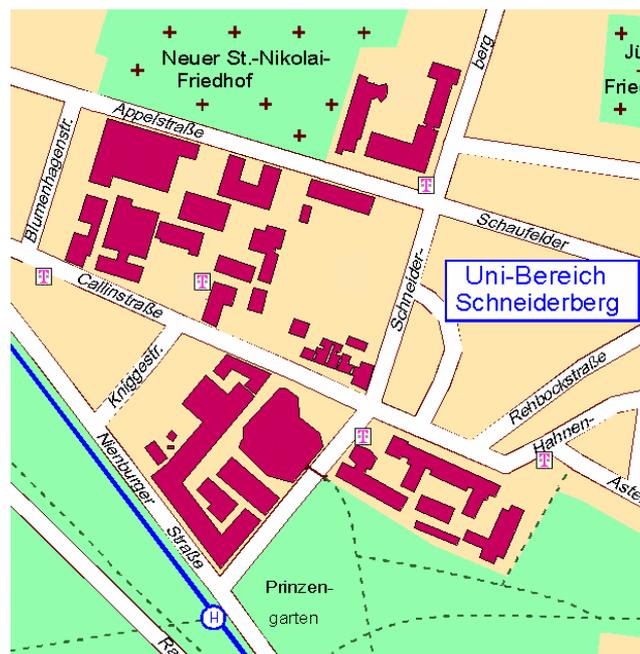


Abb. 3-4: Der Kartenausschnitt enthält blinkende Signaturen. Sie sprechen in hohem Maße die Aufmerksamkeit an. Im Vergleich zu einer statischen Karte wird der Kartenleseprozess beschleunigt, die Signaturen werden schneller erkannt (vgl. CD-Beispiel 2a bis d).

Suchabfragen erfordern häufig eine gewisse Antwortwartezeit, die besonders bei der Nutzung von Netzdiensten oder durch hohe Netzbelastung erheblich sein kann. Der Benutzer wird i. d. R. diese Zeit mit anderen Tätigkeiten sinnvoll verbringen und den Bildschirm nur kurzzeitig beobachten. Wird nun das Erscheinen der Antwort auf dem Bildschirm mit einem Tonsignal gekoppelt, so erfährt dieses Signal durch den zeitlichen Kon-

text eine gewisse Semantik (vgl. 3.3). Es zeigt dem Nutzer an, dass die Antwort bereitgestellt ist. Das Tonsignal wird dadurch zu einem *bedingten Reiz* und bewirkt eine Aufmerksamkeitsreaktion. Der Benutzer kann sich bei längeren Antwortzeiten anderen Aufgaben widmen; auf das Tonsignal hin wird er den Bildschirm beobachten (*bedingte Reizreaktion*) und die angeforderten Informationen entnehmen.

### 3.2.3 Beispiele für physiologische Effekte der visuellen Wahrnehmung als Ursache für interne Wahrnehmungsstörungen

Die Informationsverarbeitung im Kartographischen Informationsverarbeitungssystem (KIVS) wird durch **Störungen** beeinflusst, die sich negativ auf die Kommunikationseffizienz auswirken (siehe 2.3). Sinnesphysiologische Einflüsse können zu den in Abschnitt 2.3.2.2 eingeführten internen Störungen beitragen. Zu ihnen gehören die optischen Täuschungen (siehe Koch 1988).

Optische Täuschungen sind bedingt durch interne Wechselwirkungen während der neuronalen Verarbeitung visueller Reize, die zu subjektiven *Kontrasterscheinungen* und *Farbveränderungen* führt. Der physiologische Grund dafür liegt in den unterschiedlich reagierenden und miteinander interagierenden retinalen Ganglienzellen. Die komplexen Vorgänge sind bei *Schmidt* (1998), *Zimbardo* (1995), *Guski* (1989), *Anderson* (1988), *Hubel* und *Wiesel* (1987), *Hubel* (1989) und *Seitelberger* (1997) näher beschrieben. Aufgabe der Ganglienzellsysteme ist u. a. die Trennung von *gleich bleibenden* und *unterschiedlichen* Reizen durch *Kontraststeigerungen* (Guski 1989). Die dadurch entstehende Potentialdifferenz zwischen benachbarten Zellen kann zur sog. *lateralen Hemmung* führen. Sie ist bei bestimmten graphischen Anordnungen der Reizvorlage Ursache für die *optische Täuschung* der Sinnesempfindung.

Am bekanntesten ist das *Hermann-Gitter* (Abb. 3-5), das beim Betrachten dunkle unscharfe Flecken an den Kreuzungspunkten heller Linien erzeugt. Die Untersuchungen von *Koch* (1988) haben gezeigt, dass Täuschungseffekte dieser Art auch in Karten auftreten und zu Fehlinterpretationen führen können, z. B. durch Farbverdunklung. Die besondere Gefahr liegt darin, dass der Betrachter sich der Täuschung *nicht bewusst* ist.

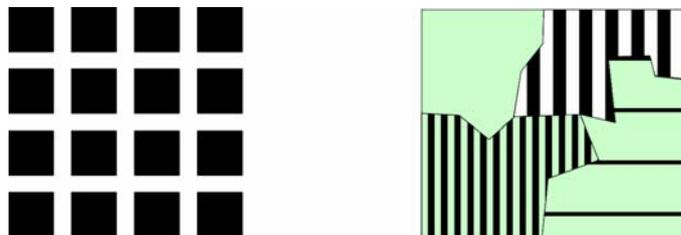


Abb. 3-5: Das Hermann-Gitter als Beispiel für die optische Täuschung der Sinnesempfindung. Das kartographische Beispiel enthält Flächenschraffuren, die bei geringem Schraffurlinienabstand zu einer Verdunklung der hellen Hintergrundfarbe führen

Kontrasterscheinungen beeinflussen besonders die visuelle Wahrnehmung von Bildschirmdarstellungen. Dies kann im Selbstversuch bereits bei der Betrachtung einer einfachen hellen Bildschirmfläche, z. B. eines LCD-Displays, festgestellt werden. Die Erscheinung zeigt sich in einem leichten Grauschleier mit sich anscheinend stetig verändernder

Intensität. Dieser Effekt kann durch Verwendung nicht zu heller Farben für die Hintergrunddarstellung etwas gemindert, aber nicht vermieden werden. Er ist u. a. eine Ursache für Ermüdungserscheinungen der Augen bei längerer Bildschirmarbeit.

Der technisch-physiologische Grund für diese *Störung* ist die um mehr als Faktor 2 bessere Auflösung des Auges (ca. 0.11 mm bei 40 cm Betrachtungsabstand) im Vergleich zur Lochmaske (z. B. 0.27 mm) des Bildschirms. Die Bildschirmauflösung ist sichtbar, die kleinsten Bildelemente (Pixel) sind erkennbar, ebenso die *Pixelübergänge*. Da ihre Helligkeit geringer ist als die der Pixel, sind Sehbeeinträchtigungen durch Kontrastverstärkung infolge lateraler Hemmungen das Resultat.

Kontrastercheinungen treten auch im praktischen Gebrauch von statischen Karten auf. Abbildung 3-6 zeigt eine unbunte Darstellung eines Ausschnittes der TK 10 mit Straßenbeschriftung (entnommen aus *Jäger u. Schulz 1999*). Aus Gründen der Schriftlesbarkeit ist die Einhaltung einer Mindestschriftgröße erforderlich, die jedoch im Widerspruch zum Platzierungsraum, der Breite der Straßensignatur, steht. Dieses gestalterische Problem wurde durch die Schriftfreistellung gelöst.

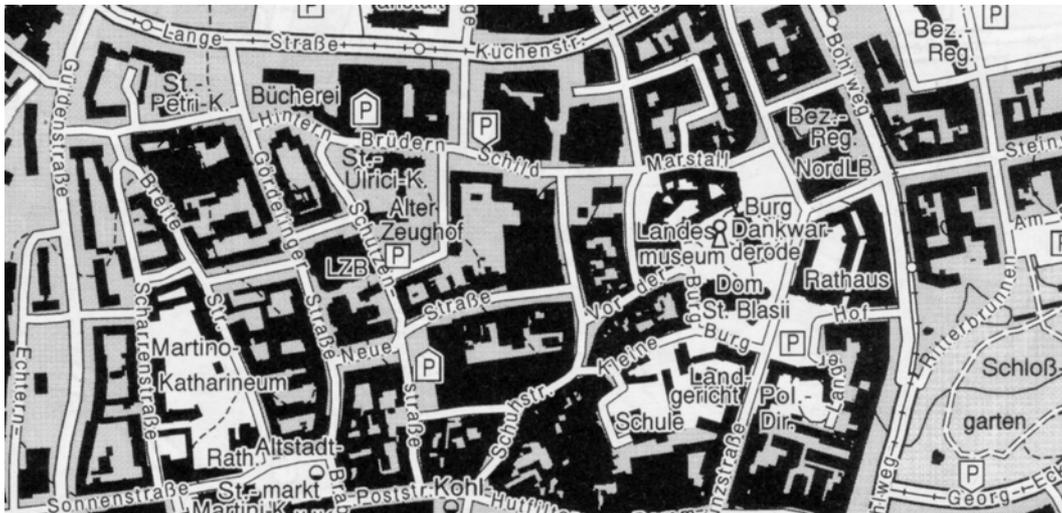


Abb. 3-6: Ausschnitt aus einer unbunten Topographischen Karte 1:10000. Der unruhige Wahrnehmungseindruck ist auf die laterale Hemmung retinaler Zellen zurückzuführen (entnommen aus *Jäger u. Schulz (1999)*)

Schon bei der kurzzeitigen Kartenbetrachtung zeigt sich jedoch ein Flimmereffekt, der sich störend auswirkt und das detaillierte Kartenlesen beeinträchtigt. Er wird hervorgerufen durch die auf geringer Fläche auftretenden Kontraste, die insbesondere durch die Schriftfreistellung und ihre Auswirkungen auf den Kartengrund entstehen. Ergebnis sind *optische Täuschungen* aufgrund lateraler Hemmungen, die zwar nicht das kognitive Bild der Karte (Tertiärmodell) verfälschen, aber die visuellen Prozesse der Reizverarbeitung stören.

Abhilfe ist in diesem Fall durch eine andere Farbwahl für die Schriftdarstellung und die Vermeidung der Schriftfreistellung möglich. Ein Grauton als Schriftfarbe würde eine Kontrastminderung bewirken. Er sollte so gewählt werden, dass ausreichende Kontraste zu helleren sowie zu dunkleren Flächen entstehen.

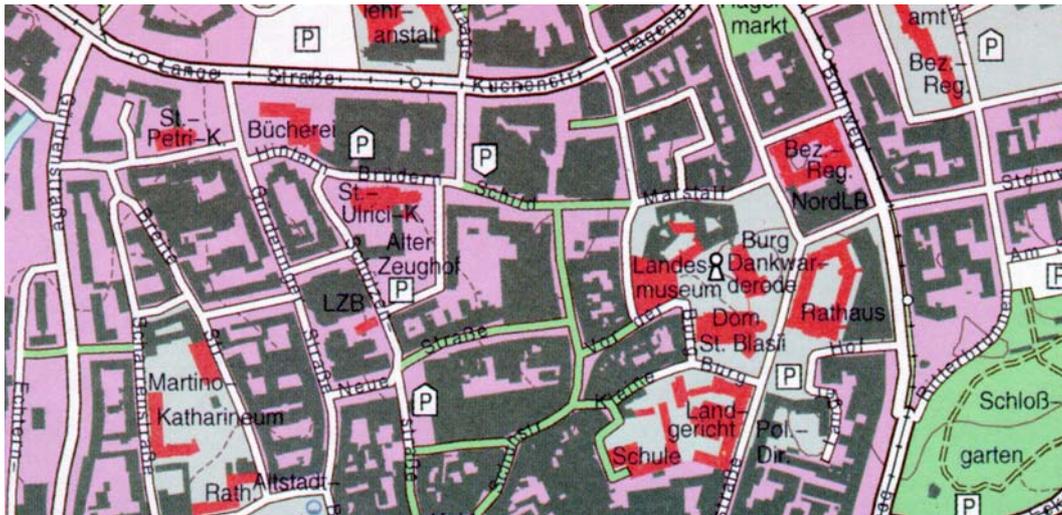


Abb. 3-7: Ausschnitt aus einer mehrfarbigen Topographischen Karte 1:10000. Durch Verzicht auf die Schriftfreistellung wird eine Beeinträchtigung der Wahrnehmung durch die Hermann-Täuschung vermieden.

In der mehrfarbigen Version der TK 10 (Abb. 3-7) wird bei der Schrftdarstellung auf die Freistellung verzichtet, da sich gerade noch ausreichende Kontraste zum mehrfarbigen Kartengrund ergeben. Die Schrift ist in diesem Fall nicht besonders prägnant und eher unauffällig. Sie ist jedoch lesbar und erfüllt ihre Funktion ohne sinnesphysiologische Begleiterscheinungen herbeizurufen.

### 3.2.4 Bewertung der Physiologie des Gesichtssinnes aus kartographischer Sicht und Einführung der „Veränderung“ als kartographisches Variablenmerkmal

Die visuelle Reizverarbeitung verläuft zweistufig in Form *retinaler* und *kortikaler* Prozesse. Optische Reize werden in der Netzhaut (interretinal) vorverarbeitet und über die ca. 2 Millionen Fasern des Sehnervs in die visuellen Zentren der Großhirnrinde (Kortex) weitergeleitet. Die visuellen Zentren umfassen mehr als 1 Milliarde Gehirnzellen (Neuronen). Sie werden unterschieden in *einfache* Zellen, *orientierungsspezifische* Zellen, *komplexe* Zellen, *hyperkomplexe* Zellen und *bewegungsspezifische* Zellen (Mishkin u. Appenzeller 1990, Seitelberger 1997, Schmidt 1998). Die *einfachen* Zellen dienen der Lokalisation eines Reizes. Die *orientierungsspezifischen* Zellen besitzen rezeptive Felder mit ellipsenförmiger Ausprägung. Sie reagieren daher besonders stark auf die *Richtung von Konturen, geraden Rändern und Kanten*. Diese kortikalen Zellen weisen eine Orientierungsrichtung von 10° bis 20° auf (vgl. Hubel und Wiesel 1987, Seitelberger 1997, Zimbaro 1995). Richtungsänderungen, die diese Größenordnung übersteigen, wirken daher *besonders prägnant* auf Betrachter. *Komplexe* Zellen hingegen reagieren sensibel auf streifenartige Muster.

Die **Erkennung von Kanten** ist im Prozess der visuellen Wahrnehmung offensichtlich der *primäre* Perzeptionsschritt, da dieser bereits im Zuge einer retinalen Vorverarbeitung erfolgt (Seitelberger 1997). Gut erkennbare Kanten, Grenzlinien oder ausreichende Farb- und Grautonkontraste, die kantenbildend wirken, sind demnach vorteilhaft für eine schnelle Perzeption.

Auf dieser Stufe muss auch die **Bewegungserkennung** eingeordnet werden. Bereits in der Netzhaut werden durch rezeptive Felder Bewegungsreize vorverarbeitet und an Gruppen komplexer Gehirnzellen weitergeleitet (vgl. Seitelberger 1997). Hier besteht eine enge Verknüpfung mit der **Aufmerksamkeitssteuerung**. Dies zeigt, dass in multimediale kartographische Darstellungsformen durch Verwendung von Bewegung oder Veränderung die Erkennung bestimmter Informationen beschleunigt werden kann. Bewegung und Veränderung sind daher nicht nur für die Darstellung dynamischer Prozesse bedeutsam, sondern auch für die **kontrollierte Steuerung der Aufmerksamkeit** (4.3.7.4).

Die Erkennung von *Form*, *Farbe* und *räumlicher Tiefe* erfolgt in einem weiteren, *kognitiven* Verarbeitungsschritt in höheren Gehirnarealen. Die **Formerkennung** wird einerseits durch orientierungsspezifische Gehirnzellen unterstützt und andererseits durch Gehirnzellen, die auf die Erkennung bestimmter Formen spezialisiert sind. Hierbei gehen auch individuelle, evtl. mit einer primärmodellhaften Vorstellung gekoppelte Erfahrungen mit ein. Da diese vornehmlich aus Erfahrungen mit der dreidimensionalen Umwelt herrühren, können z. B. perspektivische Darstellungen für die Vermittlung bestimmter Sachverhalte besonders vorteilhaft sein, da sie bereits primärmodellhaft verfügbar sind.

Bemerkenswert zur **Farbwahrnehmung** ist, dass sich im Bereich des Gelben Flecks keine blauempfindlichen Rezeptoren befinden. Sie zeigen sich erst in einem Bereich von 2° bis 5° des Zentralgesichtsfeldes (bis 10° Öffnungswinkel). Bei Verwendung der Farbe Blau ist daher zu beachten, dass einerseits die Fokussierung problematisch sein kann, andererseits die *Aufmerksamkeitswirkung* gering ist. Darüber hinaus ergeben sich *unscharfe Grenzen* zwischen Flächen unterschiedlicher Blautöne, so dass eine *Konturierung* empfehlenswert erscheint, wenn aus gestalterischen Gründen eine stärkere Tonwertdifferenzierung oder eine andere Farbwahl nicht vorgenommen werden kann. (vgl. Green u. Horbach 1999).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Prägnanz und Wahrnehmungseffizienz einer graphischen Darstellung wesentlich durch die elementare Gestaltung (ausreichender Kontrast, gute Kantensichtbarkeit usw., siehe Tab. 3-1) bewirkt wird. Komplexe Zusammenhänge hingegen werden auf höherer Bewusstseinsstufe verarbeitet. Die Verarbeitungseffizienz hängt in diesem Fall von den Erfahrungen und Wahrnehmungsstrategien des Individuums ab.

Bereits die Untersuchungen von *Bertin* (1967) haben gezeigt, dass die maßgeblichen Größen der visuellen Wahrnehmung die Variablen *Form*, *Farbe*, *Füllung* und *Orientierung* sind. Im Hinblick auf neue Darstellungsformen erscheint die **Erweiterung des Variablensystems um die Variable "Veränderung" bzw. "Bewegung"** sinnvoll, da ihre Wahrnehmung eine *Primärleistung* des Gesichtssinnes ist. Weitere Ausführungen zu ihrer Verwendung und Parametrisierung finden sich im Kapitel 4 mit Bezug zur kognitiven Verarbeitung und dem Kapitel 5 mit Bezug zur Erweiterung des kartographischen Zeichen- und Variablensystems.

In Tabelle 3-1 sind die ausgewählten Parameter des Gesichtssinnes mit dem Schwerpunkt *Bewegungswahrnehmung* zusammengefasst und hinsichtlich ihrer kartographischen Bedeutung interpretiert.

	Gesichtssinnparameter	Charakteristika	Kartographische Bedeutung
Gesichtsfeld und Auflösung	Binokulare Gesichtsfeldgröße	90° links- u. rechtsseitig 55° oberhalb 65° unterhalb	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beeinflussung der Bedienerergonomie</li> <li>- Objektlage beeinflusst visuelle Wahrnehmung</li> <li>- Auflösungsverhältnis von Druck zu Bildschirm ist ca. 1:20, daher bildschirmorientierte Graphikgestaltung erforderlich</li> </ul>
	Peripheres Gesichtsfeld	> 10°, Wahrnehmung schneller Bewegungen, Hell- und Dunkelsehen	
	Zentrales Gesichtsfeld	10°, ca. 5 µm retinale Auflösung	
	Schärfstes Sehen	2°, ca. 2,4 – 2,6 µm retinale Auflösung Wahrnehmung langsamer Bewegungen (bedingt Fokussierung)	
Augenbewegungen und Geschwindigkeit	Muskuläre Augenbewegung	Horizontal: 2 Muskeln Vertikal: 4 Muskeln Schräg: 6 Muskeln	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Legenden oder Interfacebereiche werden wiederholt visuell abgetastet. Eine Optimierung dieser Vorgänge kann durch Berücksichtigung der beteiligten Muskeln erfolgen (horizontale vor vertikaler vor schräger Abtastung).</li> <li>- Die Gestaltung von Bewegung und Veränderung erfordert die Beachtung zeitlicher Augenbewegungsparameter</li> </ul>
	Sakkadische Augenbewegungen (nach Card u. a. 1983)	<i>Latenzzeit</i> $T_L [\text{msec}] = 242 * 3,59 * A [^\circ]$ <i>Bewegungsdauer</i> $D [\text{msec}] = 103 + 5,00 * A [^\circ]$ <i>Maximalgeschwindigkeit</i> (rechts, links, oben) $V_{\text{max}} [^\circ/\text{sec}] = 8 + 11,54 * A [^\circ]$ <i>Maximalgeschwindigkeit</i> (unten) $V_{\text{max}} [^\circ/\text{sec}] = 64 + 12,35 * A [^\circ]$ A: Amplitude der Sakkaden	
Bewegungswahrnehmung	Prioritäten der Bewegungswahrnehmung	Vertikal vor horizontal Oberes vor unteres Gesichtsfeld	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schnelle Bewegungen bewirken Aufmerksamkeit</li> <li>- Langsame Bewegungen bedingen Aufmerksamkeit</li> <li>- Bewegung kann genutzt werden für eine kontrollierte Informationsvermittlung, z. B. in Animationen. In interaktiven Darstellungen kann ihr gezielter Einsatz helfen, bewusste Suchabläufe zeitlich zu optimieren.</li> </ul>
	Sofortige Bewegungserkennung	Min. 1' bis 2'/sec Max. 15' in 60 msec	
	Wahrnehmung stationärer Bewegungen (z. B. Blinken)	3 Hz: auffällig 6 – 10 Hz: störend	
	Voraussetzung der Bewegungswahrnehmung	Kontinuierliche Veränderung und sukzessive Reizung rezeptiver Felder	
	Relationen	Bewegung steuert Aufmerksamkeit	
Mechanismen der visuellen Wahrnehmung	Primärwahrnehmung	Kontrast u. Bewegung Form u. Farbe	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die visuelle Wahrnehmung weist eine schnelle retinale Reizvorverarbeitung auf und z. T. parallel verlaufende Spezialprozesse in den visuellen Zentren des Kortex.</li> <li>- Durch Kontrastverstärkung werden Konturen und Ränder zunächst bevorzugt wahrgenommen, ebenso Bewegungen aufgrund der Kopplung mit der Aufmerksamkeit. Dann folgt die Größen- und Formerkennung. Zusätzlich sind Konstanzmechanismen aktiv, die scheinbaren Veränderungen entgegenwirken</li> </ul>
	Konstanzmechanismen	Helligkeit u. Farbe Form u. Größe	
	Laterale Hemmung	Kontrastverstärkung Optische Täuschung (Flimmern)	
	Kortikale Zellen	Reizlokalisierung Kontur-, Rand-, Kantendetektion Richtungsänderung > 10°	
	Hyperkomplexe Zellen	Größen- und Formdetektion aus Kontrastwahrnehmung	

Tab. 3-1: Wesentliche Merkmale der Bewegungswahrnehmung und ihre kartographische Bewertung

### 3.3 Perzeption und Verarbeitung akustischer Informationen und ihre Bedeutung für die kartographische Visualisierung

#### 3.3.1 Allgemeine Vorbemerkungen zum gegenwärtigen Stand der kartographischen Akustikforschung

Die *Darstellung von Geodaten mit Hilfe der Akustik* ist ein Forschungsbereich, der erst jüngst durch die Verfügbarkeit von computergestützter Multimedia-Technologie interessant geworden ist (Cartwright u. a. 1999, Buziek u. a. 2000).

Die wenigen Einzelbeiträge, die sich aus kartographischer Perspektive konkret mit dem Thema *Akustik in der Kartographie* befassen, sind anwendungsorientiert ausgerichtet,

z. B. mit Bezug zu taktilen Karten oder zur Darstellung von Genauigkeit und Qualität in Karten (Krygier 1994, Fisher 1994). In den nationalen und internationalen kartographischen Lehrbüchern wird dieses Thema gegenwärtig nicht behandelt, insbesondere wird die Darlegung der theoretischen Grundlagen vermisst. Daher ist eine ausführliche Darstellung der *Grundlagen der Schallperzeption* und ihrer *kognitiven Verarbeitung* in dieser Arbeit sinnvoll, soweit aus ihnen Hinweise für den kartographischen Einsatz abgeleitet werden können. Aufgrund dieser Einschränkung sei für allgemeine Grundlagen auf die Bücher von Guski (1990), Tittel (1994), Zimbardo (1995) und Schmidt (1998) verwiesen.

### **3.3.2 Die Perzeption akustischer Reize und ihre primären Merkmale**

Mit dem Hörsinn können Schallquellen räumlich geortet werden. Der Ohrenabstand ermöglicht die horizontale und die Form der Ohrmuscheln die vertikale (Höhe im Raum) Richtungsbestimmung der Schallquelle.

Bereits an dieser Stelle der physikalisch-neuronalen Reiztransformation muss festgestellt werden, dass die Bildung akustischer Sekundärmodelle der Umwelt unter dem Aspekt der akustischen dreidimensionalen Raumabbildung nur unvollständig erfolgen kann, wenn die gewöhnlich vorhandenen Stereolautsprecherpaare eines multimedialfähigen Computers für die Wiedergabe zur Verfügung stehen.

Raumpositionen können in diesem Fall daher nur *lagemäßig* dem Hörer übermittelt werden, so dass lediglich die *horizontale Richtung* und *relative Entfernung* der Schallwelle in Bezug auf den Hörer festgestellt werden kann. Eine *vertikale (höhenmäßige)* Zuordnung ist nur möglich mit räumlich angeordneten Lautsprechersystemen, die die Änderung der Beschallungsrichtung der Ohrmuscheln zulassen. Ergänzend kommt hinzu, dass die komplexe Simulation von Geräuschen im 3D-Raum, z. B. in Zusammenhang mit der Verwendung von Virtual-Reality-Technologie, bereits bei der Aufnahme eine Simulation des Gehörs, z. B. mit Kunstkopftechnologie erfordert (vgl. Genuit in Kalivoda 1998).

Bei der akustischen Reizverarbeitung werden von den 16 000 bis 25 000 *Hör- oder Haarzellen* die Nervenimpulse über die in gleicher Zahl vorhandenen Fasern des Hörnervs an die auditiven Zentren der Großhirnrinde weitergeleitet (z. B. Tittel 1994, Zimbardo 1995, Schmidt 1998). Im Ohr werden zuvor die Schallsignale mit einer Frequenz von maximal 5000 Hz primär *tonhöhenorientiert* nach der *Ortstheorie der auditiven Wahrnehmung* ausgewertet (Schmidt 1998).

Bei Tönen oberhalb von 5000 Hz erfolgt die Verarbeitung nach der Periodizitätstheorie, nach der zusätzlich zur *Tonhöhe* auch die *Schallreizdauer* und die *Zeitstruktur* erkannt werden (Guski 1990).

### **3.3.3 Die neuronale Verarbeitung komplexer Schallsignale**

Die Weiterleitung der von den Haarzellen registrierten Signale erfolgt über 5 bis 6 Neuronengruppen (Schmidt 1998). Während *einfache Töne* über Nervenbahnen *direkt* zu den auditiven Gehirnarealen weitergeleitet werden, erfolgt bei komplizierten Signalen eine an Komplexität und Spezialisierung zunehmende neuronale und kognitive Informationsverarbeitung. Hierzu gehört die bereits frühzeitig, bewusst und willentlich erfolgende *Filterung des Nutzschalls* vom *Stör- bzw. Gesamtschall*.

Das *räumliche (binaurale) Hören* wird ermöglicht durch Neuronen, die Laufzeit- und Intensitätsunterschiede auswerten. Eine Schalldruckpegeldifferenz von 1 dB<sup>1</sup> und eine Laufzeitdifferenz von  $3 \cdot 10^{-5}$  Sekunden sind für die Ortung der Lage einer Schallquelle ausreichend. Die Zuordnung der räumlichen Schallquellenlage erfolgt über die neuronale Auswertung der *Verzerrung* von Schallwellen, die durch schräges Auftreffen auf die Ohrmuschel entsteht.

Auf der höchsten neuronalen Ebene werden *komplexe Schallmuster* analysiert. Wichtigste Schallmuster sind die *Phoneme der Sprache* und *musikalische Klänge*. Ihre Erkennung ist eine Folge des Lernens und des Wissens und daher stark individuell geprägt. Die *Tonerkennung* hingegen wird bereits im Zuge der Perzeption, quasi physikalisch, durchgeführt und steht damit auf der Stufe der primären visuellen Wahrnehmungsleistungen (vgl. 3.2.4).

### **3.3.4 Die Grundformen des hörbaren Schalls und ihre akustischen Variablen**

Die drei Grundformen des hörbaren Schalls sind der *Ton*, der *Klang* und das *Geräusch* (Schmidt 1998, Zimbardo 1995, Kalivoda 1998, Terhardt 1998). Ein **Ton** ist ein Schallsignal, das dadurch gekennzeichnet ist, dass es *eine ausgeprägte Tonhöhenempfindung* hervorruft. **Klänge** erzeugen *mehrere Tonhöhenempfindungen* zugleich und **Geräusche** sind dadurch gekennzeichnet, dass sie keine *auffallenden Tonhöhenempfindungen* erzeugen (Terhardt 1998). Sie können aus einer Vielzahl unterschiedlicher Frequenzen bestehen (Kaliwoda 1998).

Die Grundformen des Schalls und die aus ihnen ableitbaren Spielarten werden nach Zimbardo (1995) als *Tondimensionen* bezeichnet. Sie können auch als *akustische Variablen* bezeichnet und mit den *graphischen Variablen* kombiniert werden (Abschnitt 5.4). Fastl (in Kalivoda 1998) definiert in diesem Sinne insgesamt sechs psychoakustische Einflussgrößen. Es sind:

- die Tonhöhe (hoch – tief),
- die Lautheit (leise – laut),
- die Schärfe (stumpf – scharf),
- der Rhythmus,
- die Schwankungsstärke bzw. Rauheit (schwankend – rau) und
- der Wohlklang (wohlklingend – lästig).

### **3.3.5 Tondimensionen und ihre Wahrnehmung**

#### **3.3.5.1 Die Tonhöhe**

Die *Tonhöhe* ist die wichtigste Variable, da das Gehör *frequenzselektiv* arbeitet (Fastl in Kalivoda 1998). Töne sind dadurch gekennzeichnet, dass sie *ausgeprägte Tonhöhenempfindungen* hervorrufen. Sie gehören zu den so genannten *metathetischen Hörempfindungen*, die eine räumliche und semantische Zuordnung der Schallquelle ermögli-

---

<sup>1</sup> dB: Dezibel, Maßeinheit für den Schalldruckpegel

chen (Terhardt 1998). Die Tonhöhe wird entlang einer Skala von *hoch* bis *tief* definiert und umfasst Geräusche, deren wahrnehmbare Einzeltöne das Frequenzspektrum von 20 bis 20000 Hz umspannen.

Die *Tonhöhe* ist *eine subjektiv wahrgenommene Größe*, die perzeptiv und neuronal aus der *Tonfrequenz* abgeleitet wird. Zwischen beiden Größen besteht ein logarithmischer Zusammenhang (Schmidt 1998). Die Tonhöhe wird z. T. vom Schalldruckpegel beeinflusst und von Überlagerungen, die durch Störgeräusche hervorgerufen werden. Bereits eine Änderung der Tonhöhe um 0.5% (Mittelwert) nimmt der Mensch wahr. Insgesamt ergeben sich 1200 Tonhöhenstufen, die das menschliche Gehör unterscheiden kann (Moles 1971).

Die *psychologische Wahrnehmung* der Tonhöhe hängt ab von ihrer *Lautheit* und der *Wahrnehmungsdauer*. So reichen mindestens 4 komplette Perioden aus, um die Tonhöhe zu erkennen. Die *Tondauer* muss jedoch mindestens 0,05 sec betragen. Darunter können sowohl die Tonhöhe als auch die Lautheit nicht wahrgenommen werden (Moles 1971).

Eine *obere Grenze* der Tondauer gibt es nicht. Es ist jedoch bemerkenswert, dass Tondauer und Aufmerksamkeit offenbar *miteinander korreliert* sind. Untersuchungen über die Wahrnehmung von Orgeltönen haben gezeigt, dass nach einer Dauer von ca. 6 – 10 sec die Aufmerksamkeit *nachlässt*. Dieser *Sättigungseffekt* ist umso stärker ausgeprägt, je größer das Interesse an anderen konkurrierenden Reizsignalen ist. Das menschliche Wahrnehmungssystem passt sich an die Bedingungen an und schafft damit neue sensorische und kognitive Wahrnehmungskapazitäten.

### 3.3.5.2 Die Lautheit

Die *wahrgenommene Lautstärke* wird als *Lautheit* bezeichnet. Sie ist ein *Schalldruckpegel* und wird in Dezibel (dB) angegeben. Der Schalldruckpegel  $L$  wird aufgrund der hohen dynamischen Breite des Ohres verwendet, die von  $10^{-16}$  Pa bis  $10^{-4}$  Pa reicht<sup>2</sup>.  $L$  setzt den Schalldruck  $p_x$  (Amplitude der Schallwelle) in Beziehung zu einem einheitlich festgelegtem Bezugsschalldruck  $p_0$  in der Nähe der Hörschwelle ( $2 \cdot 10^{-5}$  Pa):

$$L = 20 \log p_x / p_0$$

Zunahme des Schalldruckpegels um 10 dB entspricht einer Lautstärkeverdopplung, wenn der Schalldruckpegel mindestens 40 dB (leises Gespräch) beträgt. Darunter reichen bereits geringfügige Schalldruckpegelanstiege aus, um diesen Effekt zu erzielen. Die Lautheit hängt zudem von der *Bandbreite* des Geräuschs ab. Dies führt dazu, dass bei gleichem Schalldruckpegel ein breiteres Frequenzspektrum *lauter* wahrgenommen wird als ein schmales.

Darüber hinaus wirkt sich die *Darbietungsdauer* aus. Unterhalb einer Darbietungsdauer von 100 msec nimmt die Lautheit subjektiv ab. Die wahrnehmbare Lautstärke umfasst den Bereich von absoluter Stille (unterhalb von 0 dB) bis ca. 180 dB. Wird das Gehör Schalldrücken über 90 dB ausgesetzt, können Hörschäden auftreten.

---

<sup>2</sup> Pa: Pascal, Einheit für Druck

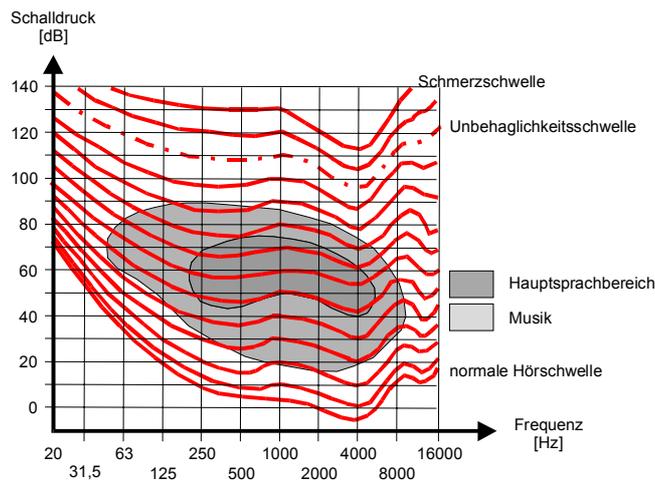


Abb. 3-8: Isophonen dargestellt in Abhängigkeit vom Schalldruckpegel und der Frequenz (Nach Schmidt (1998) und Kalivoda (1998))

In Abbildung 3-8 ergibt sich der *Lautstärkepegel* als subjektive Größe aus dem Schalldruckpegel und der Frequenz einer Schallquelle. Es ergeben sich Isophonen (Kurven gleicher Lautstärkepegel). Sie zeigen, dass bei gleichem Schalldruckpegel Schallereignisse zwischen 2000 Hz und 5000 Hz lauter wahrgenommen werden als andere Töne. Die Hörschwelle besitzt in diesem Bereich ihren geringsten Schalldruckpegel. Einfache akustische Signale, die z. B. zu *Warnzwecken* oder zur *Aufmerksamkeitssteuerung* verwendet werden, sollten daher zweckmäßigerweise in diesem Frequenzbereich liegen.

Änderung des Schalldruckpegels	Stufe der Wahrnehmung
0 – 2 dB	Nicht wahrnehmbar
2 – 5 dB	Gerade wahrnehmbar
5 – 10 dB	Deutlich wahrnehmbar
10 –20 dB	Große Veränderung
> 20 dB	Überaus große Veränderung

Tab. 3-2: Wahrnehmung von Schalldruckpegeländerungen (nach Lerchner 1998)

Im Hinblick auf eine kartographische Nutzung der Akustik ist die *Schalldruckpegeländerung* von Bedeutung. Mit ihrer Hilfe kann z. B. die Zu- und Abnahme von Quantitäten akustisch unterstrichen werden. Für diesen Anwendungsfall ist es wichtig, die subjektive Empfindung der Schalldruckpegeländerung in Form einer Lautstärkeänderung zu kennen. Dieser Sachverhalt wird durch Tabelle 3-2 dargestellt. Sie bezieht sich auf eine gleich bleibende Frequenz.

*Kartographisch* könnte die *Lautstärkenwahrnehmung* genutzt werden, um *Quantitäten* zu beschreiben, z. B. Lärmbelastungen oder Entfernungsänderungen. Wird dafür als akustisches Darstellungsmittel ein 4000 Hz Ton verwendet, so können nach Abb. 3-10 und Tab. 3-2 maximal 9 Klassen deutlich durch eine 10 dB Schallpegeldruckdifferenz voneinander differenziert werden.

Bei der Verwendung komplexer Geräusche, z. B. Verkehrslärm, ist zu berücksichtigen, dass eine *Frequenzvariation* auch eine *subjektive Lautstärkenvariation* bewirkt, so dass Interpretationsprobleme auftreten können.

### 3.3.5.3 Die Schärfe

Die *Schärfe* ist eine subjektive Hörempfindung, die von *stumpf* bis *scharf* klassifiziert werden kann. Sie ist frequenzabhängig und wird insbesondere durch hohe Frequenzen hervorgerufen. Sie ist zugleich eine der Haupteinflussgrößen des *Wohlklangs*. Er wird mit zunehmender Schärfe verringert. Die Schärfe ist daher eine Einflussgröße, die vornehmlich *psychologische Wirkung* aufweist und die die *Wahrnehmungsatmosphäre* beeinflusst.

### 3.3.5.4 Der Rhythmus

Ein weiteres akustisches Merkmal ist der *Rhythmus*. Er ergibt sich aus der subjektiven Wahrnehmung des Wechsels von Schallimpulsen und Schallpausen. Besonderes Merkmal ist dabei, dass die subjektive Dauer der Schall- bzw. Pausenwahrnehmung bis zu einer Darbietungsdauer von 1 sec *nicht* mit der physikalischen Dauer identisch ist. So muss z. B. die physikalische Dauer einer Schallpause 400 msec betragen, damit sie subjektiv so wahrgenommen wird wie ein 100 msec lang anhaltender Ton von 3,2 kHz (in Kalivoda 1998).

In kartographischer Hinsicht können damit *Periodizitäten im Datenmaterial* beschrieben werden. Der Rhythmus eignet sich ebenso wie Änderungen der weiteren Tondimensionen auch zur externen Aufmerksamkeitssteuerung.

### 3.3.5.5 Die Schwankungsstärke

Eine geringe Schwankungsstärke (Fluktuation) mit einer Frequenz unterhalb von 20 Hz wird subjektiv als *Schwankung* wahrgenommen. Schnellere Schwankungen hingegen führen zu einer Hörempfindung, die mit *Rauheit* bezeichnet wird. Ihr Maximum liegt bei Frequenzen um 70 Hz. Auf Schwankungen von 4 Hz (Periodizität von 250 msec) reagiert das Gehör besonders empfindlich. Schwankungen wirken *negativ* auf den Wohlklang von Geräuschen. Sie werden als besonders lästig empfunden und zählen damit zu den Störungen.

### 3.3.5.6 Wohlklang und Lästigkeit

Der *Wohlklang* (Sonanz) ist das Gegenstück zur *Lästigkeit* (Terhardt 1998). Der Wohlklang ergibt sich aus der *Rauheit*, der *Schärfe* und der *Lautheit*. Er ist mit ihnen negativ korreliert. Seine wichtigste Einflussgröße ist die *Lautheit*. Schärfe und Schwankungsstärke werden eher bei geringer Lautheit als Haupteinflussgrößen gesehen (Fastl in Kalivoda 1998). Für unterschiedliche Schallereignisse sind *Wohlklangskoeffizienten* ermittelt worden (Terhardt 1998). Sie sind in Tabelle 3-3 dargestellt und hilfreich für akustische multimediale Gestaltungsaufgaben, z. B. zur Schaffung einer angenehmen Lernatmosphäre eines multimedialen KIS. *Lerchner* (1998) gibt eine Rangfolge der psychologischen *Lästigkeit* an (Tab. 3-4), die zusätzlich als Hilfe bei Gestaltungsaufgaben genutzt werden kann.

Rang	Schallereignis	Rang	Schallereignis
1	Musikalischer Akkord	10	Amplitudenmodul. Sinuston
2	Frauenstimme	11	Automobil
3	Glockenläuten	12	Schreibmaschine
4	Männerstimme	13	Weißes Rauschen
5	Sinuston	14	Telefonklingel
6	Wasserplätschern	15	Elektr. Kaffeemühle
7	Flugzeug	16	Schlagbohrmaschine
8	Staubsauger	17	Kreissäge
9	Motorrad		

Tab. 3-3: Rangfolge des Wohlklangs von 17 Schallereignissen (nach Terhardt 1998)

Rang	Schallereignis
1	Aus einem gleichmäßigen Grundgeräusch tritt ein Geräusch hervor
2	Geräusche mit hohen Frequenzanteilen wirken lästiger als Geräusche mit niedrigen Frequenzanteilen
3	Einzeltöne sind unangenehmer als Bandrauschen
4	Impulsbehaftete Geräusche sind lästiger als Geräusche gemäß 1 bis 3
5	Langsame Impulsfolge ist störender als schnelle Impulsfolge
6	Unregelmäßige Impulse steigern 6
7	Wechselnde Frequenz von Tönen und Impulsen wird durch wechselnde Amplitude ergänzt
8	Plötzliche Geräusche oder Knalle lösen Schreckwirkung aus.

Tab. 3-4: Rangfolge der Lästigkeit von Schallereignissen (nach Terhardt 1998)

### 3.3.6 Wirkung von Schallereignissen und ihre kartographische Interpretation

Eine weitere Definition des Geräuschs aus informationstheoretischer Sicht liefert *Moles* (1971). Er bezeichnet *unerwünschte* Schallsignale als Geräusche. Demnach ist ein Geräusch eine **subjektive Empfindung**, die hauptsächlich von der Intention des Senders oder der des Empfängers abhängt. Geräusche umfassen in diesem Sinne dann auch *Töne* und *Klänge*, die das externe Störpotential eines KIS erhöhen können (vgl. 2.3).

Die weitere Unterscheidung, z. B. in Sprache, Musik, künstliche Töne, reale Töne usw. unterliegt einer hohen individuellen Prägung, die zusätzlich durch *Kontext* und *Situation* des Hörers beeinflusst wird. Aufgrund der hohen Komplexität und ihrer Bedeutung für die Erweiterung des kartographischen Zeichensystems soll zu einem späteren Zeitpunkt auf sie eingegangen werden (5.4.5). Die Erarbeitung von Kenntnissen über die Tertiärmodellbildung ist zuvor dafür erforderlich (Kapitel 4).

Die Betrachtungen in den vorhergehenden Abschnitten haben gezeigt, dass drei Aspekte die Geräuschqualität bestimmen. Es sind

- *physikalische* Einflüsse, die sich z. B. aus der Art der Schallquelle und des Schallfeldes ergeben,
- *psychoakustische* Einflüsse, die vornehmlich perzeptiv und kognitiv bedingt sind und
- *psychologische* Einflüsse, die zu einer Bewertung der im Schall enthaltenen Information führen (vgl. Genuit in Kalivoda 1998).

Sie zusammen bestimmen die *Geräusch-* oder *Tonqualität*. Ihre objektive Bewertung ist nicht einfach, da mit den psychoakustischen und psychologischen Einflüssen zwei *stark individuell geprägte Komponenten* enthalten sind. Dies gilt vornehmlich für die Geräusch- und Klangwahrnehmung und den daraus resultierenden Klangfarben (Gesang, Musik, Sprache usw.). Die Wahrnehmung einfacher Töne scheint nur in geringem Maße davon betroffen zu sein, da sie direkt über die Nervenbahn in auditive Gehirnzentren geleitet werden, während die Wahrnehmung von Geräusch- und Klangqualitäten eine neuronale Verarbeitung in mehreren Stufen erfordert. Abbildung 3-9 veranschaulicht die genannten Zusammenhänge und zeigt die wichtigsten Klangfarben auf. Ihre Geräuschqualität wird durch die in Abschnitt 3.3.5 beschriebenen Tondimensionen bestimmt.

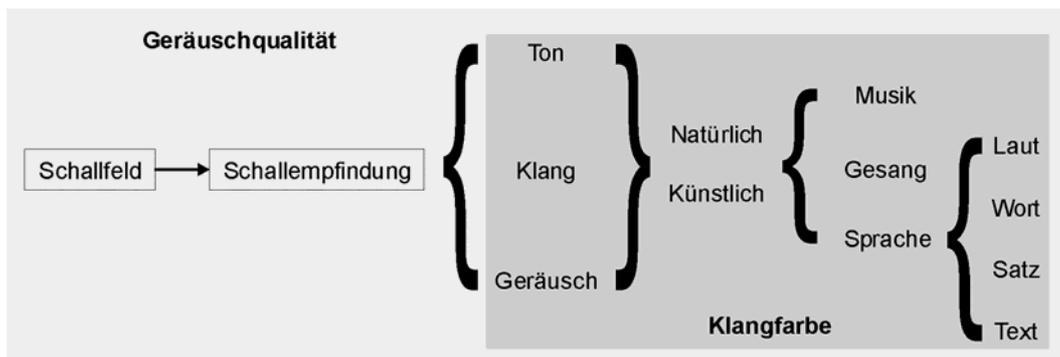


Abb. 3-9: Die wichtigsten Klangfarben der akustischen Gestaltung

Über Untersuchungen zur physiologischen Wirkung von Schallwahrnehmungen berichtet *Lerchner* (1998). Er stellt u. a. folgende Punkte fest, die in gestalterischer Hinsicht bedeutsam sind:

- Maximalpegel sind physiologisch besonders wirkungsvoll.
- Breitbandgeräusche rufen stärkere Reaktionen als Einzeltöne hervor.
- Bei geringen Schalldruckpegeln sind bedeutungsvolle (bekannte) Geräusche wirkungsvoller als bedeutungsarme (unbekannte).
- Die Wirkungen sind immer relativ, das Geräuschumfeld ist daher stets zu berücksichtigen.
- Bis zu einem Schalldruckpegel von 70 – 80 dB ist eine Gewöhnung möglich.
- Unvorhersehbare, bedeutungsreiche, bedrohliche Geräusche zeigen bereits bei geringen Schalldruckpegeln physiologische Wirkungen.
- Das Gefühl des Kontrollverlustes über die Störquelle wirkt sich nachteilig auf die Wahrnehmungsempfindungen aus.

Die folgenden Beispiele sollen einen ersten Eindruck vermitteln, wie Geodaten visuell und akustisch gestaltet werden können:

- Der Sinneseindruck kann durch positive *Emotionen* verstärkt werden, die durch Gesang oder Musik (Wohlklang) hervorgerufen werden können.
- Die Verwendung von Sprache kann den Nutzer einerseits zusätzlich über *abstrakte Sachverhalte informieren* oder ihn zu *Handlungen* veranlassen.
- Geräusche können als Metaphern genutzt werden und eine *zusätzliche Interpretationshilfe* darstellen.

- Einzeltöne können eine *Warn-* oder *Anzeigefunktion* erfüllen oder *Qualitäten* beschreiben.
- Durch Stereoeffekte und Schalldruckpegeländerungen kann eine horizontale *Richtungs-* und *Entfernungsbeschreibung* einer Schallquelle erfolgen.

Auf die konkrete Verwendung und Gestaltung auditiver Informationen für kartographische Zwecke wird in Kapitel 6 anhand ausgewählter Beispiele eingegangen.

In dieser Arbeit sind damit die Prozesse der sensorischen Reizaufnahme, -vorverarbeitung und -verarbeitung ausreichend beschrieben. Für die Beschreibung der individuell und subjektiv geprägten Prozesse und die Berücksichtigung der semantischen und pragmatischen Dimension der kartographischen Informationsverarbeitung ist die Analyse psychologischer Modelle der Wahrnehmung und des Wissenserwerbs notwendig (vgl. Albertz 1997). Ausführungen dazu enthält Kapitel 4 ebenso, wie eine zusammenfassende Bewertung, die auch die Ausführungen dieses Kapitels mit einschließt.

## 4 Das Tertiärmodell der Umwelt als Ergebnis der menschlichen Wissensakquisition

### 4.1 Allgemeine Vorbemerkungen

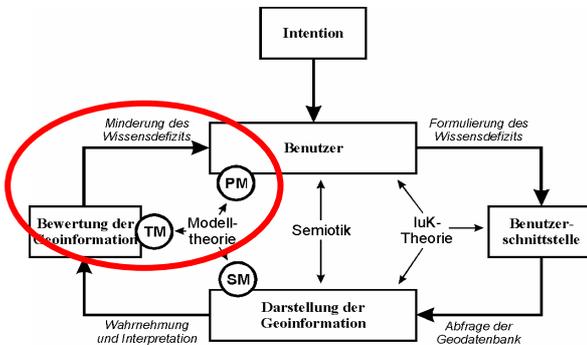


Abb. 4-1: Ausgewählte Grundlagen der mentalen Bildung von Umweltmodellen

Die Bildung eines mentalen Tertiärmodells der Umwelt ist das Resultat von z. T. parallel verlaufenden *Wahrnehmungsprozessen*. Sie gehen einher mit der komplexen kognitiven Auswertung von visuellen und akustischen Reizen und Reizmustern, die zuvor auf der sensorischen Wahrnehmungsebene gefiltert wurden (Kap. 3). Dieser ständige Wechsel von Perzeption und kognitiver Informationsverarbeitung ist eine weitere *modulspezifische* und *in-*

*variante Struktur* des kartographischen Informationsverarbeitungssystems, die zudem ständig mit dem mentalen Primärmodell des Nutzers interagiert und abgestimmt wird. Sie ermöglicht, dass die Primär- oder Tertiärmodelle der Umwelt gedanklich in Form von *Wissen* repräsentiert werden können.

Diese modulspezifische Wechselwirkung wird von kognitiven *Bewusstseinsvorgängen*, wie dem *Wahrnehmen*, *Interpretieren*, *Klassifizieren* und *Bewerten* dominiert, so dass *subjektive* und *individuelle* Einflüsse bei der Bewertung von Tertiärmodellen zusätzlich beachtet werden müssen. Mit dem Wahrnehmen eng verbunden sind *motorische Handlungen*, wie z. B. die visuelle Exploration einer Darstellung, die bewusste Rezeption von akustisch dargestellten Informationen oder die interaktive Kommunikation mit dem kartographischen Informationssystem (5.5, vgl. Knizhnikov 1997).

In diesem Kapitel werden zunächst die Wahrnehmungsvorgänge analysiert, damit den durch *Audiovision*, *Dynamik* und *Interaktion* geprägten neuen Gestaltungsherausforderungen der kartographischen Visualisierung theoretisch und praktisch begegnet werden kann. Dazu werden ausgewählte theoretische Ansätze herangezogen und im Sinne des kybernetischen und systemtheoretischen Grundgedankens dieser Arbeit betrachtet.

### 4.2 Wissensarten und ihr Einfluss auf die mentale Bildung von Umweltmodellen

Die Analyse der wissensbildenden Prozesse setzt zunächst die Betrachtung des Begriffs „*Wissen*“ voraus, da mentale Modelle der Umwelt als *Wissensstrukturen* gespeichert werden.

*Böhme-Dürr*, *Emig* und *Seel* (1990) führen aufgrund einer Literaturrecherche an, dass von einem allgemeinen Verständnis des Begriffs *Wissen* nicht ausgegangen werden kann. Ihr Definitionsversuch steht im Einklang mit der systemtheoretischen Komponente

des KIVS. Nach dieser Definition wird Wissen als *Konstruktion und Aufrechterhaltung von Invarianzen deklariert*, das sich aus Lern- und Denkprozessen ergibt (vgl. Albertz 1997). Insgesamt werden drei Arten von Wissen differenziert, die das sog. **Weltwissen** eines Individuums bilden. Das Weltwissen besteht aus dem *deklarativen Wissen*, das Fakten über die reale oder wahrgenommene Umwelt umfasst. Seine *semantische* Komponente schließt *abstrakte* und *begriffsbezogene* Informationen ein, während die *episodische* Komponente individuelle Erfahrungen, einschließlich der Zeit- und Kontextbezüge, enthält. *Mietzel* (1996) ordnet dem Weltwissen zusätzlich das *prozedurale Wissen* zu, das Erinnerungen an Handlungsabläufe und Tätigkeiten bereithält. Wissen, das sich als Ergebnis von Überlegungen auf der Basis von deklarativem und prozeduralem Wissen ergibt, wird als *diskursives Wissen* bezeichnet. Es ist nicht an einen unmittelbaren Wahrnehmungsvorgang gebunden und das Ergebnis gedanklicher Aktivitäten des Nutzers.

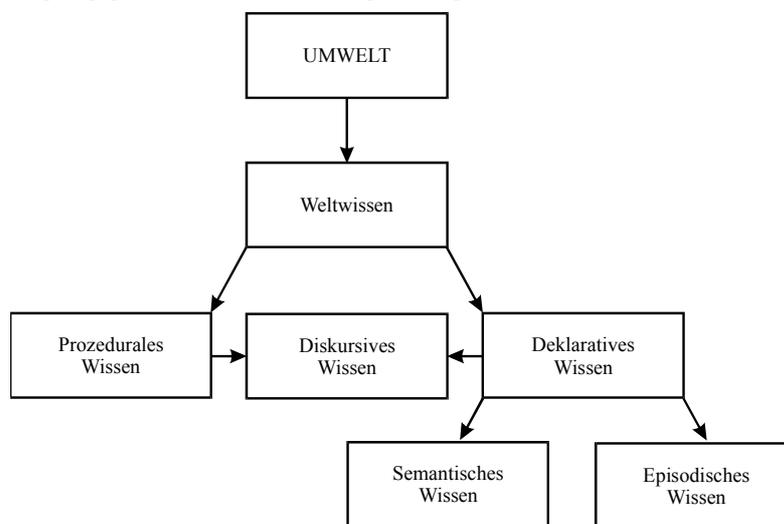


Abb. 4-2: Wissensarten und ihre Zusammenhänge

**Primäre** und **tertiäre Modelle der Umwelt** sind vor diesem Hintergrund *Wissensstrukturen*, d. h. sie bestehen aus unterschiedlichen Wissensarten und stehen darüber hinaus miteinander in Wechselbeziehungen. Sie ergeben sich aus den Vorstellungen des Nutzers über die Umwelt aufgrund seiner persönlichen Erfahrungen einerseits und den generalisierten und abstrahierten Informationen aus einem KIS andererseits.

*Geoinformationen*, die aus herkömmlichen Karten gewonnen werden, bilden aufgrund ihrer Darstellungsweise zunächst *semantisches Geowissen* in Form eines *abstrakten mentalen Modells*. Es wird angereichert mit Inhalten des *episodischen Geowissens* – den Umwelterfahrungen des Individuums –, so dass sich ein *quasi-reales mentales Umweltmodell* ergibt. D. h. mit der Kartensymbolik werden Realweltobjekte assoziiert. Herkömmliche kartographische Darstellungsformen können daher nur dann hinreichende Tertiärmodelle der Umwelt bilden, wenn den Rezipienten die Inhalte des Sekundärmodells auch in ihrer realen Entsprechung bekannt sind.

Daher sind multimediale und interaktive kartographische Produkte vermutlich leistungsfähiger als herkömmliche Karten, da sie unter Zuhilfenahme neuer Darstellungsmittel (Bilder, Videos, Virtual Reality) in der Lage sind, ohne wesentlichen Rückgriff auf das episodische Wissen ein quasi-reales mentales Umweltmodell zu vermitteln. Die Wirkung neuer

Darstellungsformen kann daher durchaus mit *Erfahrungen der Umwelt* verglichen werden. Eine Verbesserung der Bildung von *deklarativem Wissen* ist daher zu erwarten, so dass die detaillierte Betrachtung der Wahrnehmungsvorgänge notwendig ist. Die theoretischen Grundlagen dafür sind philosophischer und psychologischer Natur und werden im nächsten Abschnitt diskutiert.

## 4.3 Ausgewählte theoretische Grundlagen der mentalen Bildung von Umweltmodellen

### 4.3.1 Psychologische Wahrnehmungsmodelle - Geschichtliche Entwicklung und Überblick

Bereits im 17. Jahrhundert führte *Rene Descartes* Experimente zur Untersuchung des Sehens durch. *Immanuel Kant* (18. Jh.) befasste sich philosophisch mit den geistigen Prozessen der Wahrnehmung und legte damit den Grundstein für die **Gestalttheorie**. Im 19. Jahrhundert entwickelte *Hermann von Helmholtz* u. a. seine Theorie des Farbensehens.

Der Übergang vom 19. zum 20. Jahrhundert ist der Beginn unterschiedlicher psychologischer Strömungen. Auf empirisch-deduktiver Basis begründet *Sigmund Freud* seine Theorie der *Psychoanalyse*. Demnach sind individuelle *Motivationen*, *Vererbung* und *Kindheitserlebnisse* die maßgeblichen wahrnehmungsbeeinflussenden Faktoren. Nach *Zimbardo* (1995) wird dieser Ansatz auch als **psychodynamisches Modell** bezeichnet.

Die **Behavioristen** gehen von der Annahme aus, dass Verhalten *vollständig* durch Umweltbedingungen und Umweltreize determiniert wird. Die kognitiven Zusammenhänge werden nicht untersucht. Zu den Vertretern dieser Strömung zählen z. B. *Weber* (1834), *Fechner* (1869) und *Stevens* (1958) (zit. nach Kebeck 1991). Behavioristische Forschungen reichen bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts hinein. Ein moderner Vertreter ist *J. J. Gibson* (1982). Er beschreibt Wahrnehmung als informationsaufnehmenden Prozess, in dem die Umweltobjekte allumfassende Informationen bereithalten, die von Individuen bedarfsorientiert entnommen werden. Auch in diesem Ansatz werden nicht die kognitiven Prozesse beschrieben, sondern die Reaktionen der Subjekte.

Zeitgleich mit dem Behaviorismus entwickelte sich die vorwiegend auf die visuelle Wahrnehmung ausgerichtete **Gestaltpsychologie**. Die Grundlagen dazu stammen von *Wertheimer* und *Koffka* (zit. von Kebeck 1991) und enthalten über einhundert unterschiedliche Prinzipien der visuellen Informationswahrnehmung (Gestaltgesetze).

In den 1970er Jahren kommt es in der Psychologie zur kognitiven Wende, und damit zur Konzentration auf die Mechanismen der menschlichen Wahrnehmung. Es wird im Wesentlichen durch *Ulric Neisser* die **Kognitionspsychologie** begründet (Neisser 1967/96, Wimmer u. Perner 1979, Ballstedt 1990, Schermer 1991, Kebeck 1991, Dutke 1994).

Mit **Kognition** werden nach *Neisser* (1967/96) *alle mentalen Vorgänge bezeichnet, welche die Information transformieren, reduzieren, ausarbeiten, abspeichern, abrufen, weiterverwenden* und dergleichen mehr (Wimmer u. Perner 1979). Die Wahrnehmung ist ein kognitiver Prozess und die Folge von Reiz, Erfahrung und individuellen Konstruktionen

(diskursives Wissen) im Sinne einer *aktiven Informationsverarbeitung* (Neisser 1996, Rock 1985).

Rock (1985) greift den Gedanken der kognitiven Informationsverarbeitung auf und verbindet ihn mit gestaltpsychologischen Ansätzen. Darüber hinaus werden seine Überlegungen durch eine Vielzahl von Experimenten belegt.

Auch Marr (1982) geht bei seinen Arbeiten davon aus, dass Wissen das Resultat eines informationsverarbeitenden Prozesses ist. Um diese These zu prüfen werden visuelle Wahrnehmungsvorgänge formalisiert und algorithmisch formuliert, so dass sie rechnergestützt getestet werden können. Auf dieser Grundlage entwickelt Marr seine Theorie der visuellen Informationsverarbeitung (4.3.3).

Die Entwicklung psychologischer Wahrnehmungstheorien wird stets begleitet von den Forschungen der Medizin und der Neurowissenschaft. Es entsteht eine **biopsychologische Modellvorstellung** (Zimbardo 1995). Wahrnehmung wird durch *physikalische* Strukturen und *biochemische* Prozesse erklärt. Die Arbeiten zum Farbsehen von Helmholtz, zur Verarbeitung visueller Information von Hubel und Wiesel (1987) sowie zur neuronalen Reizverarbeitung prägen dieses Modell.

Angesichts der Vielzahl existenter Kognitionstheorien stellt sich nun die Frage, *welche theoretischen Ansätze für die Beschreibung der internen Wechselbeziehungen des Moduls „Mensch“ genutzt werden können*. Sie wird nachfolgend zusammen mit kartographischen Beispielen diskutiert.

#### **4.3.2 Die Beschreibung der Wahrnehmung flächenhafter graphischer Darstellungen durch die Gestaltgesetze**

Die **Gestalttheorie** basiert auf dem Grundgedanken, dass eine Gestalt mehr ist als die Summe ihrer Teile (Köhler 1947). Eine Zerlegung des eigentlichen Wahrnehmungsvorgangs in kleinste Teilprozesse wird daher vermieden (vgl. Kebeck 1991, Zimbardo 1995). *Gestalt* im Sinne der Gestalttheorie ist nicht mit dem Begriff der *Form* zu verwechseln. Es ist vielmehr ein umfassendes Konzept. Es basiert auf sensorischer Erfahrung und umfasst darüber hinaus Lern-, Erinnerungs- und Denkprozesse sowie individuelle emotionale Charakteristika, Aktionen und Reaktionen. Im Vergleich mit den gegenwärtig bevorzugten kognitiven Theorien beschreibt die Gestalttheorie jedoch nicht den Wahrnehmungsprozess, sondern seine *Organisationsprinzipien* und *äußeren Merkmale* (vgl. Köhler 1947, Zimbardo 1995, Kebeck 1991). Die Berücksichtigung dieser Gesetzmäßigkeiten bei der kartographischen Gestaltung fördert die Effizienz der ~~Das Meta~~ **Konzept** der Gestalt-Theorie ist die **Prägnanz**. Es basiert auf dem Streben der menschlichen Wahrnehmung nach einer möglichst einfachen Strukturierung von Reizvorlagen (Kebeck 1991). Das Prägnanzkonzept wird in drei *Prägnanzprinzipien* gegliedert:

1. Es existieren **Bezugsgestalten**, die als vereinfachte Grundmuster stellvertretend für einander ähnelnde Gestalten sind.
2. Das Wahrnehmungsfeld wird in **prägnante Gestalten** gegliedert
3. Prägnante Gestalten bewirken ein **positives**, nicht prägnante Gestalten ein **negatives Empfinden**. Letzteres wirkt sich negativ auf das Lernverhalten aus (Vester 1993) und kann daher interne Störungen im Sinne des KIVS hervorrufen.

Untersuchungen zum dritten Punkt haben gezeigt, dass *gute* Gestalten leichter und genauer wahrgenommen und erinnert werden.

*Metzger* (1967) systematisiert die Gestalttheorie und arbeitet sieben unterschiedliche Gestaltgesetze aus. Es sind:

1. **Gleichartigkeit** bzw. **Ähnlichkeit**. Es werden gleichartige Wahrnehmungsobjekte zusammengefasst und Gruppen gebildet.
2. **Nähe**. Gruppenbildung erfolgt aufgrund möglichst geringer Abstände zwischen einzelnen Objekten. Es entstehen dichte Gruppen, die deutlich voneinander isoliert sind.
3. **Gemeinsames Schicksal**. Sich gleichartig verändernde Objekte werden als zusammengehörig erkannt und zu formbeständigen Objektgruppen zusammengefasst.
4. **Objektive Einstellung**. Unterliegen sukzessive Veränderungen einem Trend, so wird dieser erkannt und auch dann beibehalten, wenn bereits eine Trendänderung erfolgt ist.
5. **Aufgehen ohne Rest**. Die Unterteilung von Objektgruppen erfolgt in gleich große, gleiche oder in ihren Merkmalen ähnliche Untergruppen. Konvexe oder konkave Ausprägungen von Gruppengrenzen werden fortgelassen oder aufgefüllt.
6. **Glatter Verlauf**. Geradlinige Zusammenfassungen werden bevorzugt. Sie sind insbesondere auf die generelle Liniencharakteristik bezogen.
7. **Geschlossenheit**. Die Zusammenfassung von Linienmustern zu geschlossenen Kurven wird bevorzugt. Es können *amodale* Figuren entstehen, da Lücken im Linienverlauf gedanklich geschlossen werden (vgl. 4.3.6/7).

Als **kartographisches Beispiel** für die Wirkung ausgewählter Gestaltgesetzmäßigkeiten ist in Abbildung 4-3 der Ausschnitt einer großmaßstäbigen Stadtkarte dargestellt. Durch Anwendung kartographischer Gestaltungsprinzipien, insbesondere die der *Generalisierung* (z. B. Hake u. Grünreich 1994) und der *assoziativen farblichen Gestaltung*, wird die Wahrnehmung und effiziente kognitive Verarbeitung besonders unterstützt. Der Kartenin-



Abb. 4-3: Ausschnitt aus der Standortkarte der Universität Hannover

halt wird zunächst durch das Straßennetz gegliedert, dessen *Linienelemente* einen weitgehend *glatten Verlauf* aufweisen. Dadurch entsteht ein *klares und prägnantes Bild*.

Dem *Gesetz der Ähnlichkeit* wird in diesem Beispiel entsprochen durch die Wahl identischer Farbtöne für Objekte mit identischer Semantik. In diesem Fall wird die Farbe Rot

für Gebäude mit öffentlicher Nutzung gewählt, ungesättigtes Rot für Flächen mit Wohngebäuden, Grün für Parkflächen usw.

Am Beispiel der Gebäudekomplexe wird ferner die Wirkung des *Gesetzes der Nähe* deutlich. So führt bereits das oberflächliche Betrachten der Abbildung 4-3 zur Bildung von zwei umfangreichen Gebäudegruppen, die sich entlang einer imaginären und diagonal durch den Kartenausschnitt verlaufenden Achse gruppieren. Dieser Effekt gewährleistet Prägnanz, eine gute Erinnerbarkeit und die Entlastung des visuellen Wahrnehmungsinns.

Die Gestaltgesetze sind vorwiegend für die visuellen Zusammenhänge in flächenhaften zweidimensionalen Abbildungen formuliert worden, so dass es für Darstellungen des dreidimensionalen Raumes einer weiteren theoretischen Grundlage bedarf. Sie wird geliefert von *Marr* (1982), der computergestützte Untersuchungen zur Repräsentation und Verarbeitung von visuellen Informationen durchführte.

### **4.3.3 Die Wahrnehmung dreidimensionaler Räume nach D. Marr**

Das Ziel der Arbeiten von *Marr* (1982) war die Erforschung des menschlichen visuellen Systems. *Marr* nahm an, dass visuelle Wahrnehmung einem informationsverarbeitenden Prozess entspricht und folgerte daraus die Formulierbarkeit dieses Prozesses als Algorithmus. Diese Annahme führte zur softwaretechnischen Umsetzung und Anwendung auf die digitale Bildanalyse. Aus den Anwendungserfolgen wurde auf die Funktionsweise des menschlichen visuellen Systems rückgeschlossen. Aus diesem Ansatz ergab sich ein Modell der datengetriebenen visuellen Informationsverarbeitung (Bottom-Up Prozess, vom Bild zur Bedeutung).

Der Schwerpunkt des Ansatzes liegt auf der Beschreibung der Wahrnehmung von Strukturen der realen Umwelt, die zu einem hierarchisch strukturierten, imaginären dreidimensionalen Primärmodell der Umwelt führen. Aus diesem Grunde ist der Ansatz nach *Marr* besonders interessant für die Beschreibung der Wahrnehmung von echten oder unechten dreidimensionalen Ausdrucksformen, wie z. B. perspektivischen Darstellungen (vgl. Sieber 1996).

Die Theorie von *Marr* soll hier nur komprimiert dargestellt werden. Ausführliche Darstellungen sind zu finden in *Marr* (1982) und *Kebeck* (1991). *Peterson* (1994) diskutiert die Ansätze von *Marr* aus kartographischer Sicht.

*Marr* identifiziert drei mentale Repräsentationsformen einer Reizvorlage:

- Die *Erstskizze (primal sketch)*,
- die *2.5-D Skizze (2.5-D sketch)* und
- die *3-D Repräsentation (3D-model-representation)*.

Die Reizvorlage wird zunächst analysiert bezüglich ihrer *Helligkeitsunterschiede* als Voraussetzung für die Kantendetektion. Aus den Helligkeitsdifferenzen wird die sog. **Erstskizze** erstellt. Sie setzt sich zusammen aus *Kanten*, *Streifen*, *Flecken* und *Konturen*, die nach *Orientierung*, *Kontrast*, *Länge*, *Breite* und *Position* differenziert werden und auf die zweidimensionale Abbildung bezogen sind. Die Erstellung der Erstskizze ist damit abgeschlossen (Abb. 4-4 a). Sie enthält keine semantischen Elemente, z. B. über die Abbildungsperspektive, Oberflächenstrukturierung oder die Reliefformen.

Im darauf folgenden Verarbeitungsschritt werden die Tonwertabstufungen interpretiert. Mit Hilfe von visuellen Parametern (Schattierung, Textur, Bewegung, Okklusion, Disparität) wird die Tiefenstaffelung der sichtbaren Oberflächen vorgenommen. Es ergibt sich die **2.5-D-Skizze** mit ersten Rauminformationen (Abb. 4-4 b).

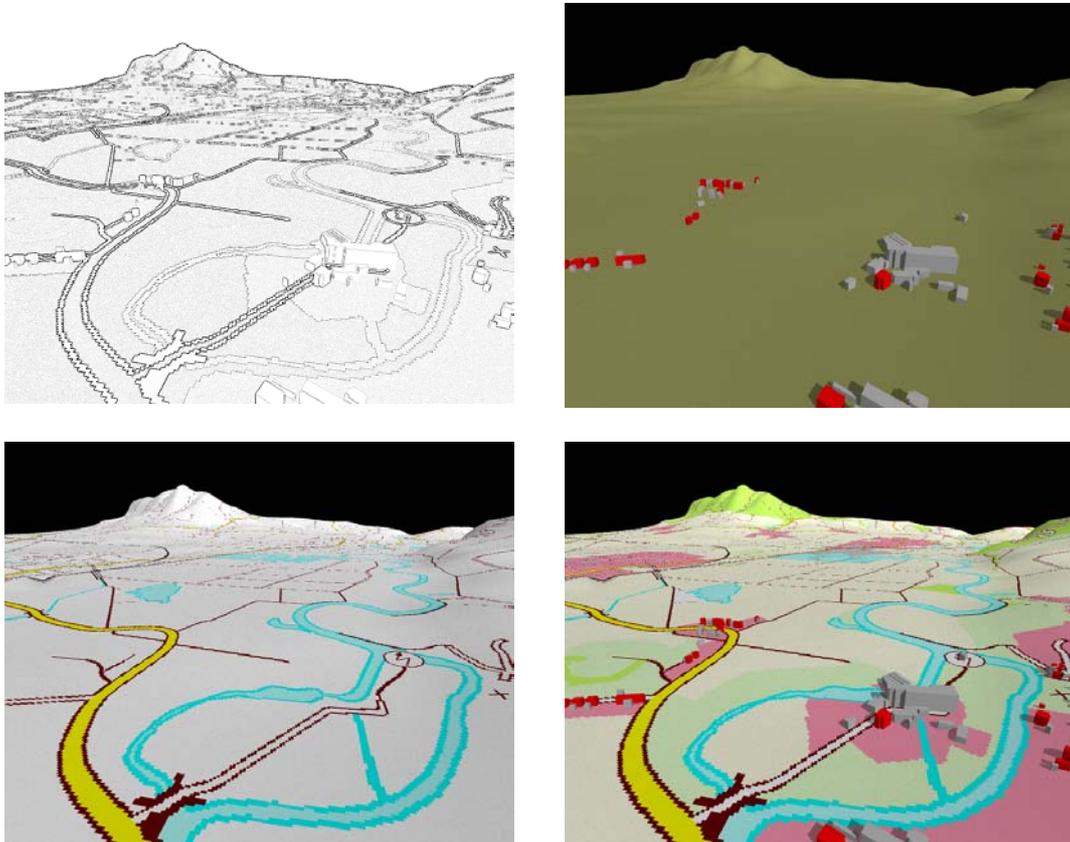


Abb. 4-4: a) Erstskeizze: Wahrnehmung von Kanten b) 2.5-D Skizze: Wahrnehmung der Tiefenstaffelung von Oberflächenelementen c) Interpretation von Objektarten d) 3D-Modell: unvollständig, da keine Perspektivänderung

In der *2.5 D-Skizze* sind auch Informationen über *Objektbewegungen* enthalten, die sich aus Diskontinuitäten, den Übergängen zwischen bewegten Objekten und dem Objekthintergrund, ergeben.

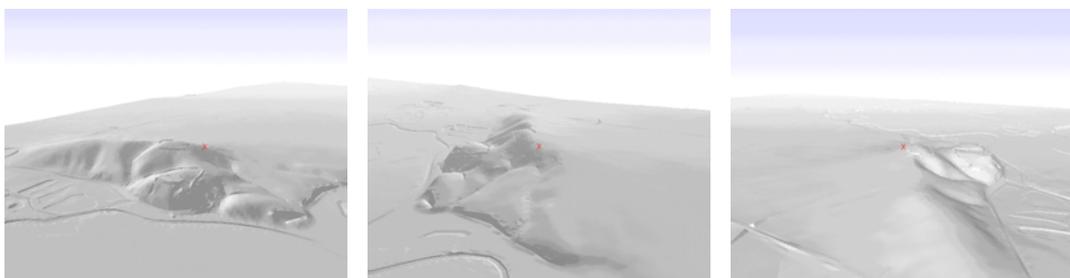


Abb. 4-5 a) bis c): Interaktive Perspektivänderung für die Konstruktion eines mentalen 3D-Modells

Die mentale Konstruktion des **3D-Modells** umfasst schließlich Formen, räumliche Objekte und ihre räumliche Anordnung in einer modularen und hierarchischen Ordnung (Marr 1982).

Ohne Perspektivänderung der Vorlage kann das 3D-Modell jedoch nur als *unvollständig* gelten, da sich die verdeckten Bereiche dem Betrachter nicht erschließen. Für die *vollständige* mentale 3D-Konstruktion ist daher ein Perspektivwechsel erforderlich (Abb. 4-5). Geschieht dies nicht, so ist aufgrund von Verdeckungen ein *unvollständiges mentales 3D-Modell* das Resultat (Abb. 4-4d).

Vor dem Hintergrund der *Marr'schen* Theorie schränken herkömmliche Karten die Bildung von Tertiärmodellen ein, da die dritte Dimension nur *indirekt* aus Höhenlinien, Höhenzahlen, farbigen Höhenschichten, Schummerungen oder mittels des individuellen Primärmodells der Umwelt gewonnen werden kann. Die Kommunikationseffizienz ist daher von der Erfahrung im Umgang mit Karten (deklaratives Wissen) abhängig.

Interaktive kartographische 3D-Visualisierungssysteme können diesen Nachteil aufheben und gewinnen daher an Bedeutung (z. B. *Buziek* u. *Döllner* 1999, *Ottoson* 1999). Ihr Vorteil liegt u. a. darin, dass Benutzer nur in geringem Maße auf ihr Primärmodellwissen zurückgreifen müssen, da sie das Modell aus allen Perspektiven erforschen können. Interaktive perspektivische Landschaftsdarstellungen können daher gut als Ergänzung, z. B. zu topographischen Karten, eingesetzt werden (Abb. 4-6).



Abb. 4-6: Ergänzung einer topographischen Kartendarstellung durch eine perspektivische Ansicht

#### **4.3.4 Wahrnehmung und Interaktion nach dem Wahrnehmungszyklus**

##### **4.3.4.1 Grundlagen**

Sowohl die Gestaltpsychologie als auch der Ansatz der Informationsverarbeitung von *Marr* erklären nicht das *Wahrnehmungsverhalten* von Individuen. Dies steht im Schwerpunkt der Arbeiten von *Neisser* (1967/96). Er hat mit seinen Betrachtungen erstmals auf den Menschen als aktive und handelnde Komponente fokussiert und damit die sog. "kog-

„*nitive Wende*“ in der Wahrnehmungspsychologie eingeleitet (Zimbardo 1995, Kebeck 1991, Guski 1989).

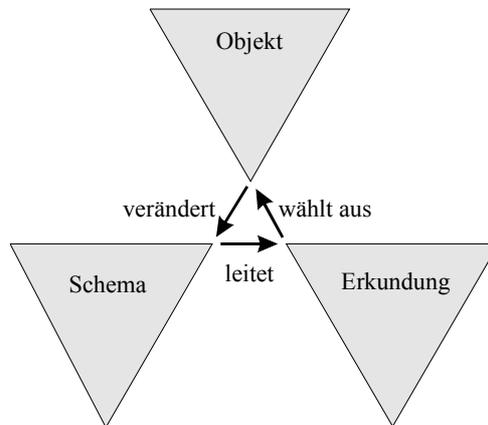


Abb. 4-7: Der Wahrnehmungszyklus (Neisser 1996)

Neisser betrachtet Wahrnehmung als kognitiven Prozess der **Informationsverarbeitung**. Dieser Prozess wird durch *Erwartungen* gesteuert, die zuvor durch Umwelterfahrungen entstanden sind und kontinuierlich aktualisiert werden. Daraus ergibt sich ein Regelkreis im kybernetischen Sinne mit Rückkopplungseffekten (Abb. 4-7). Neisser (1996) hat mit dem Wahrnehmungszyklus eine übergeordnete Wahrnehmungstheorie vorgestellt, die als „Meta-Theorie“ interpretiert werden kann (Guski 1989).

Demnach wird die Informationsverarbeitung in eine *vorbewusste* (prä-attentive) und eine *bewusste* (attentive) Stufe differenziert. Während der *vorbewussten Wahrnehmungsphase* wird vor allem *datengesteuert* (reizgesteuert) wahrgenommen. Dies entspricht dem *Bottom-Up-Prozess* nach Zimbardo (1995). Die Reizeigenschaften lenken in dieser Phase die *selektive Wahrnehmung*. Dies sind vor allem *extreme Reize*, z. B. laute Geräusche, helles Licht, bestimmte Farben und Muster (Guski 1989). Sie sind es, die die bewusste Wahrnehmung oftmals erst bewirken. Darüber hinaus wird die *bewusste Wahrnehmung* (Top-Down-Prozess) von *individuellen Erwartungen* gesteuert. Letztere werden *antizipierende Schemata* genannt. Dies sind *Gedächtnisprozesse*, die den Wahrnehmenden mit seiner Umgebung in Beziehung bringen (Neisser 1996, Mietzel 1996).

Diese Prozesse bereiten das Individuum auf Wahrnehmungsereignisse vor und veranlassen es zur aktiven Erkundung des wahrgenommenen Objekts. Es werden sozusagen Hypothesen gebildet, die durch selektive Wahrnehmung getestet werden (Kebeck 1991). Zugleich ergibt sich eine natürliche Filterfunktion; das Individuum sucht nach Bekanntem und nutzt die sehr effizienten Prozesse der *Wiedererkennung* zur Identifikation. Der kartographische Grundsatz „*Gleiches gleich abbilden*“ ist hierin begründet (siehe Abschnitt 4.3.6).

Dieser Mechanismus gilt auch für die Wahrnehmung zeitlicher Abläufe. Dadurch kann das Verhalten bewegter Objekte abgeschätzt und wenn nötig, das Subjektverhalten darauf abgestimmt werden (siehe Abschnitt 3.2).

Neben den reinen Wahrnehmungsaspekten kommen im System der kartographischen Visualisierung *Handlungsaspekte* hinzu. Für kartographische Fragestellungen und für die

Perzeption sind daher auch die *Mensch-Mensch/Umwelt-*, die *Mensch-Maschine/KIS-Beziehung* und die *technische Interaktion* von Bedeutung (vgl. 5.5).

#### 4.3.4.2 Orientierung und Navigation mit Karten als Beispiel für die Wahrnehmung nach dem Wahrnehmungszyklus

Ein **kartographisches Beispiel** für die Wahrnehmung nach der Theorie von Neisser ist das *Kartenlesen* und die *Karteninterpretation*. Gemäß der Terminologie von Neisser ist eine reale Karte ein *Objekt*. Im Gegensatz zu anderen Objekten der Umwelt wird es nicht zufällig der Wahrnehmung zugeführt, sondern für bestimmte Zwecke (Orientierung, Navigation, Planung usw.) *bewusst ausgewählt*. Es entsteht daher ein Top-Down-Prozess der Wahrnehmung. Die Zweckbestimmtheit dieses Auswahlprozesses definiert wiederum das zu aktivierende Wahrnehmungsschema, z. B. eines für Orientierungs- und Navigationszwecke.

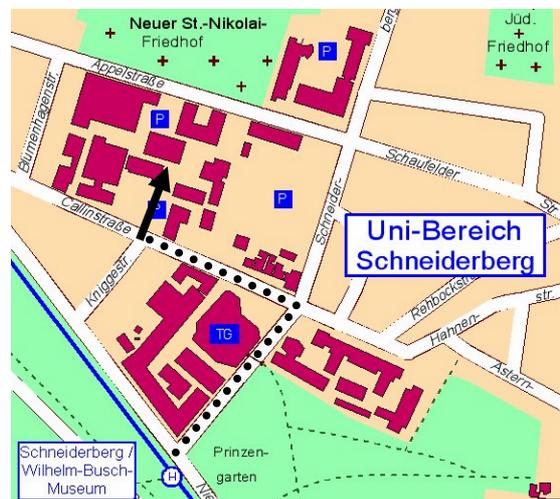


Abb. 4-8: Wegesuche mit Hilfe einer Karte

..... → Ergebnis der Routensuche

In einem ersten Schritt werden durch das Lesen der Karte die Kartenobjekte einer *Begriffsbildung* unterzogen. Sie wird unterstützt durch die Legende, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass der Nutzer über ausreichendes episodisches Wissen verfügt. In dieser Phase wird die räumliche Kartengraphik zusätzlich mental strukturiert (Tertiärmodellbildung). Es entstehen Fragen wie:

- *Was ist wo?*
- *Wo ist der Zielort?*
- *Wo komme ich an?*
- *Welchen Weg muss ich gehen?*

Sie ergeben sich als Folge kognitiv-konstruktivistischer Prozesse, leiten die Erkundung und werden durch Selektion bestimmter Karteninformationen beantwortet (Top-Down-Prozess).

Das zunächst angewandte *allgemeine Schema* für die Orientierung und Navigation mit Kartenhilfe wird auf *den konkreten Raumausschnitt* bezogen und als neues Schema im Gedächtnis abgelegt (Schemakonkretisierung).

Im beispielhaften Fall der Wegsuche von einer Stadtbahnhaltestelle zum Institut für Kartographie der Universität Hannover (Abb. 4-8) könnte das allgemeine Schema „Von A nach B gehen“ in konkretisierter Form folgende Informationen umfassen:

- an der Haltestelle Schneiderberg aussteigen,
- der Straße „Am Schneiderberg“ folgen,
- an der ersten Kreuzung links abbiegen,
- am Parkplatz rechts abbiegen
- und das Gebäude aufsuchen.

Mit steigender Komplexität kartenbezogener Aufgaben gewinnt der *Selektionsprozess* an Bedeutung, da aufgrund des *begrenzten Kurzzeitgedächtnisses* ständig Objekte *gezielt* wahrgenommen werden müssen (siehe Abschnitt 4.3.7.3).

Im optimalen Fall wird der Selektionsprozess unterstützt durch eine zweckentsprechende graphische Gestaltung der Karte oder durch interaktive Modifikation des Darstellungsinhalts. Die Informationsselektion geschieht im ersten Fall visuell und mental bzw. kognitiv durch Konzentration auf die wesentlichen Elemente. Im zweiten Fall gestatten interaktive Karten eines GIS oder eines Auskunftssystems die Informationsreduktion, z. B. durch objektorientiertes Ein- bzw. Ausblenden. In diesem Fall bedarf der Selektionsprozess der Unterstützung durch computerbasierte Hilfsmittel der *technischen Interaktion* (vgl. 5.5). Sie ist damit ein Mittel der Kartennutzung, dessen Auswirkung auf die Tertiärmodellbildung nur wenig untersucht ist. Dieser Frage wird im Abschnitt 5.5 und im Kapitel 6 nachgegangen.

### 4.3.5 Die informationsverarbeitende und problemlösende Wahrnehmung

#### 4.3.5.1 Funktionale Zusammenhänge

Das Wahrnehmungsmodell von *Rock* (1985) ist bedeutsam, weil es ein erster Versuch ist, die unterschiedlichen Erkenntnisse der Wahrnehmungspsychologie zu einem *integrierten Ansatz* zu bündeln.

*Rock* (1985) zählt wie *Neisser* zu den Vertretern der kognitiven Psychologie. Er betrachtet Wahrnehmung als das Ergebnis einer Reihe von Arbeitsschritten zwischen dem Reiz und dem hervorgerufenen Wahrnehmungseindruck im Sinne einer *Verarbeitung von Informationen*.

Der Verarbeitungsprozess enthält eine Reihe von gedankenähnlichen Operationen, z. B. *Beschreiben*, *Schlussfolgern* und *Problemlösen*. Zusätzlich werden Prinzipien der *Rationalität* (z. B. Einfachheit) und *Konstanz* sowie die Gesetze der *Gestalttheorie* und des Wahrnehmungszyklus von *Neisser* (1967/96) beachtet und integriert (*Rock* 1985, *Kebeck* 1991).

Darüber hinaus erweitert *Rock* (1985) sein elektives Wahrnehmungsmodell um den Begriff des *Gedächtnisses*, das die Wissensspeicherung in Form von *propositionalen Be-*

schreibungen (Feststellungen, Behauptungen) und *stimuli-analogen Perzepten* (mentale Repräsentationen des Wahrgenommenen) vornimmt (vgl. 4.3.7.2, Abb. 4-9).

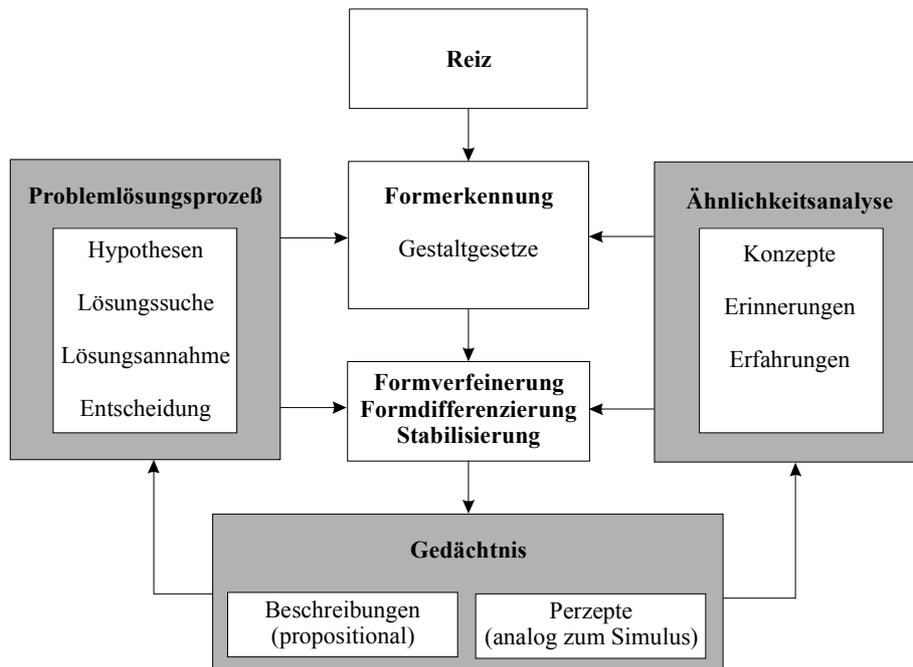


Abb. 4-9: Graphische Darstellung der Wahrnehmung nach Rock (1985)

Der reizgesteuerte (Bottom-Up) Verarbeitungsprozess beginnt mit der *Figur-Grund-Unterscheidung*. Sie ist die Grundlage der *Formerkennung*, die durch die bereits physiologisch begründete *Grenzlinienerkennung* und *Grenzlinienzuordnung* ermöglicht wird (Kap. 2). Dieser Erkennungsprozess läuft nach den Gesetzmäßigkeiten der Gestalttheorie ab (4.3.2). Er ist noch Teil der datengesteuerten Wahrnehmung und endet mit der Objektwahrnehmung, d. h. der Bildung eines Tertiärmodells.

Nach dieser Verarbeitungsphase werden nach dem Prinzip des Wahrnehmungszyklus *Vergleiche* mit vorhandenen Erfahrungen und Kenntnissen durchgeführt. Der *schema-gesteuerte* (Top-Down) Verarbeitungsprozess beginnt (vgl. 4.3.4). *Erfahrungen* ermöglichen das *Erkennen* und *Identifizieren* von Objekten mit Unterstützung von *Erinnerungsvorgängen*. Diese höheren kognitiven Prozesse führen zur *Formverfeinerung*, *Formdifferenzierung* und *Stabilisierung* bevorzugter Gefüge (vgl. Kebeck 1991). Es bilden sich Strukturen und Invarianzen. *Wiedererkennungsprozesse* werden dadurch unterstützt, und aufgrund der Reduzierung bewusster Wahrnehmungsoperationen wird zudem die Wahrnehmungseffizienz gefördert (vgl. Albertz 1997).

Reize, die *Mehrdeutigkeiten* im Wahrnehmungsprozess hervorrufen, werden dem *hypothesen-gesteuerten Problemlösungsprozess* zugeführt. Dieser enthält die Phasen der *Lösungssuche*, der *Lösungsannahme* und der *Entscheidung* für eine von mehreren konkurrierenden Lösungen. Auch dieser Prozess wird durch individuelle Erfahrungen unterstützt. Rock belegt seine Wahrnehmungstheorie anhand einer Reihe von Beispielen (Rock 1985, Kebeck 1991).

#### 4.3.5.2 Kartenlesen und –interpretation als Beispiel für konstruktive Informationsverarbeitung

Die Abbildungen 4-10 a und b sollen die Auswirkungen der Wiedererkennung und der Ähnlichkeitsanalyse nach *Rock* veranschaulichen. Abbildung 4-10 a zeigt auf den ersten Blick eine farbige Rastergraphik, deren Semantik sich i. d. R. dem Betrachter nicht sofort erschließt. Häufig werden zunächst helle Flächen auf dunklem Grund als Ergebnis des Gestaltgesetzes der Figur-Grund-Unterscheidung wahrgenommen. Die Farbgestaltung der Flächen mutet willkürlich an und der Eindruck einer Ordnung der Flächen entsteht nicht, ebenso wenig wirken Farbassoziationen. Das "Komplexitätsprinzip" ist vernachlässigt (vgl. 2.3.2.3).

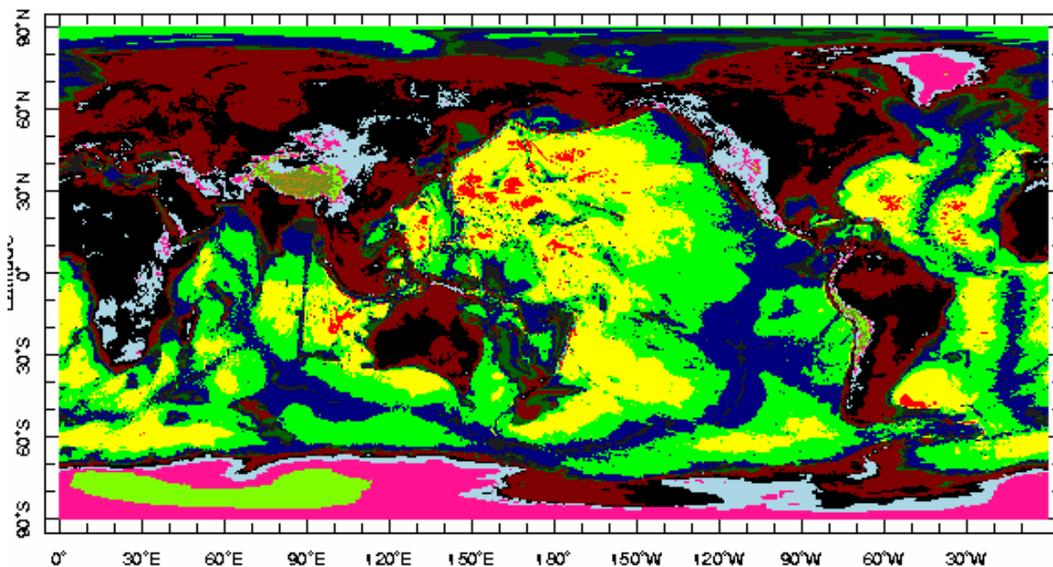


Abb. 4-10a: Darstellung einer Weltkarte mit farbigen Höhen- und Tiefenschichten und willkürlicher Farbgebung (IRI 1998).

Durch die Figur-Grund-Beziehung „Helle Flächen vor dunklem Hintergrund“ ist die *Formkonstruktion* zunächst auf die Grenzlinien der hellen Flächen ausgerichtet. Sie führt nicht zum Erfolg, da bei dem erstmaligen Betrachten die Linienverläufe unbekannt sind und weitere Erklärungen fehlen. Es dominiert die reizgesteuerte Wahrnehmung.

Im Zuge der *Problemlösung* ist der Betrachter bemüht, Bekanntes zu entdecken oder verständnisunterstützende Informationen zu erhalten. *Wiedererkennungsprozesse* werden aktiv (vgl. 4.3.6). Dies führt letztendlich zur Umkehr der Figur-Grund-Beziehung und die dunklen Flächen werden gegen den hellen Hintergrund abgegrenzt. *Kontinentlinien* werden erkannt. Das Erkennungsproblem ist gelöst, sofern ein diesbezügliches kartographisch/geographisches deklaratives Wissen vorhanden ist. Die gewonnene Erfahrung wird als Schema gespeichert und steht beim wiederholten Betrachten der Abbildung zur Verfügung. Der Betrachter kennt den Karteninhalt und erkennt ihn.

Beim Betrachten der Abbildung 4-10b entstehen diese Wahrnehmungsprobleme nicht. Die Farbgestaltung ist assoziativ und nach kartographischen Gesichtspunkten durchgeführt worden (Hake u. Grünreich 1994, Spiess 1996). Sie entspricht den bekannten Darstellungen in Erdatlanten, so dass eine schnelle *Wiedererkennung* sichergestellt ist.

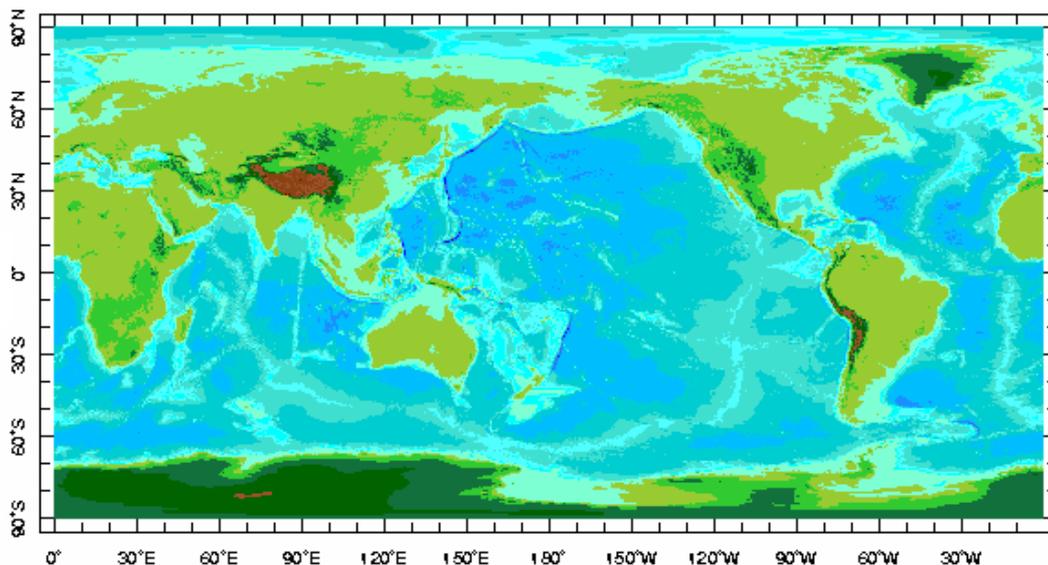


Abb. 4-10b: Darstellung einer Weltkarte mit farbigen Höhen- und Tiefenschichten. Die Farbwahl wurde assoziativ (Blau für Gewässer, Grün bzw. Braun für Landflächen) durchgeführt.

### 4.3.6 Mechanismen der Wahrnehmung von Primär- und Sekundärmodellen der Umwelt

#### 4.3.6.1 Vorbemerkungen

Die kognitive Informationsverarbeitung nach dem Ansatz von *Rock* (1985) stellt eine elektive *Integrationslösung* verschiedener psychologischer Wahrnehmungsmodelle dar und konkretisiert zugleich wesentliche Mechanismen der Wahrnehmung ohne sie jedoch zu erklären. Sie werden zusammengefasst in den drei Kernbereichen des Modells, der *Ähnlichkeitsanalyse*, der *Problemlösung* und dem *Gedächtnis*.

Mit Bezug auf die kartographische Visualisierung ist zunächst die *Ähnlichkeitsanalyse* betrachtenswert, da sie Wechselbeziehungen zwischen dem Gedächtnis und den perzipierten Reizen beschreibt. Ihr wesentliches Merkmal sind **Konstanzmechanismen**, die die mentale Modellbildung durch das systemtheoretische Prinzip der *Aufrechterhaltung von Invarianzen* erheblich unterstützen (vgl. *Albertz* 1997).

#### 4.3.6.2 Die Bedeutung von Wahrnehmungskonstanzen für die Bildung von mentalen Modellen der Umwelt

In den meisten Theorien der Wahrnehmung werden Phänomene beschrieben, die auf das **Grundprinzip der Konstanz** bzw. **Invarianz** zurückgeführt werden können, das schon im Zusammenhang mit den Grundlagen der Systemtheorie als bedeutsam erkannt wurde (Kap. 2). *Wahrnehmungskonstanzen* führen zu einer *invarianten, konstanten und stabilen* Sicht der Realität (*Zimbardo* 1995). Sowohl das menschliche Wahrnehmungssystem als auch die kognitiven Operationen, der Wissenserwerb und die Wissensnutzung

werden durch das Prinzip der Konstanz *erheblich entlastet*. Konstanz bewirken, dass trotz sich verändernder Abbildungsverhältnisse Objekte qualitativ und quantitativ eindeutig durch effiziente Wahrnehmungsmechanismen (z. B. Wiedererkennung) identifiziert werden (Seitelberger 1997, Kebeck 1991).

Grundlage für Wahrnehmungskonstanzen sind *Wahrnehmungserfahrungen* und bereits *vorhandenes Wissen* um Aussehen, Form und Bedeutung von Objekten, die in Form von Schemata im Gedächtnis abgelegt sind. Zwischen dem retinalen Wahrnehmungseindruck und den Gedächtnisrepräsentationen muss daher eine *mentale Ähnlichkeitstransformation* erfolgen, die u. a. auch zur Bildung von Primär- und Tertiärmodellen der Umwelt führt. Die dafür notwendigen „Passinformationen“ werden durch invariante Strukturen bereitgestellt (Seitelberger 1997).

Die wichtigsten Wahrnehmungskonstanzen sind die *Größen-, Form-, Helligkeits- und Farbkonstanz*. Für kartographische Zwecke sind sie von großer Bedeutung bei der Wahrnehmung von anschaulichen Präsentationsformen, z. B. perspektivischen oder animierten Darstellungen. Sie ermöglichen die korrekte Interpretation einer kartographischen Szene trotz Veränderung von Beleuchtung oder räumlicher Objektposition. Sie beeinflussen die Wahrnehmung von Maßstab, Raum, Zeit und Objekten (Mietzel 1996). Kartographische Beispiele dafür enthalten die folgenden Abschnitte.

#### 4.3.6.3 Die kartographische Bedeutung der Größenkonstanz am Beispiel perspektivischer topographisch-thematischer Darstellungen

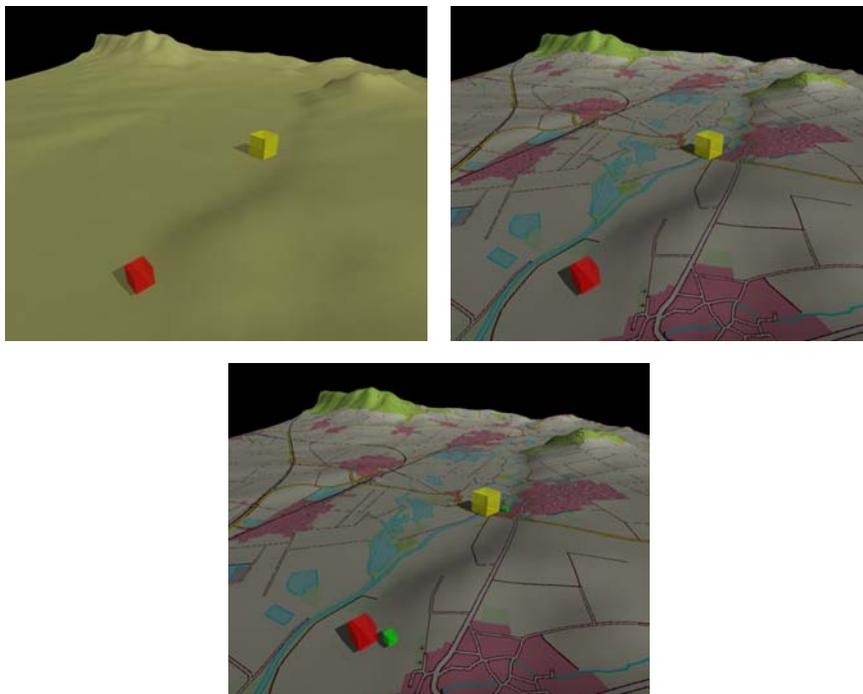


Abb. 4-11: Versagen der Größenkonstanz am Beispiel von 3D-Signaturen. In den oberen beiden Abbildungen werden die Würfel als gleich groß empfunden. Die perspektivische Geländedarstellung (links) und die Landschaftsdarstellung (rechts) unterstützen nicht die Größenschätzung der Würfel. Erst unter Zuhilfenahme des grünen Einheitswürfels ist der visuelle Größenvergleich möglich.

Der **Größenkonstanzmechanismus** wirkt sich aus, wenn trotz Veränderung der räumlichen Position einem Objekt eine bestimmte (objektive) Größe zugeordnet werden kann. Größenbestimmende Merkmale sind u. a. die Entfernung des Objektes vom Beobachter, die tatsächliche Objektgröße, weitere augenspezifische Größen (z. B. die Bewegungsparallaxe) und das verfügbare *Wissen* über das Objekt und seine Größe. Zusätzlich beeinflussen charakteristische Strukturen der Perspektive die Größenschätzung, z. B. fluchtende Linien und Texturveränderungen.

Bei kartographischen Aufgabenstellungen ist die *Größenkonstanz* insbesondere bei der Verwendung von *perspektivischen Darstellungen* von Bedeutung. Ein einfaches Beispiel mag dies veranschaulichen. Enthält eine Landschaftsdarstellung z. B. Gebäude, so entwickelt der Betrachter trotz fehlender Größenangaben ein Gefühl für die Weite der Landschaft. Entfernungen zwischen Gebäuden, ebenso wie die Entfernung zum Horizont, können geschätzt werden, da die Gebäudegrößen aus der Erfahrung bekannt sind und als Maßstab dienen können. Der Betrachter nutzt *diskursiv* sein Wissen über die objektive Größe der Objekte während des Perzeptionsvorgangs (4.2).

Werden jedoch die topographischen Gebäudeobjekte durch einfache 3D-Signaturen, z. B. Würfel, ersetzt, so ist sowohl das Entfernungs- und Abstandsschätzen als auch der Signaturenvergleich kaum noch mit Erfolg möglich (siehe Abb. 4-11). Es fehlt offensichtlich das Wissen über die objektive Signaturengröße und das Verhältnis der Signaturen zu anderen Objekten, z. B. der Geländeoberfläche. Abbildung 4-11 veranschaulicht ein solches Problem. Erst das Wissen über die Größe einer Einheits- oder Bezugssignatur (grüner Würfel) ermöglicht das richtige Lesen und Interpretieren der perspektivischen Darstellung (Abb. 4-11c).

Der Größenkonstanzmechanismus muss insbesondere bei der Gestaltung perspektivischer kartographischer Darstellungsformen in Verbindung mit thematischen Inhalten kritisch geprüft werden. Mit zunehmendem Abstraktionsgrad von Raumobjekten in perspektivischen Darstellungen sind zusätzliche, objektskalierende Informationen notwendig.

#### 4.3.6.4 Die kartographische Bedeutung der Formkonstanz am Beispiel einer Vergrößerungsoperation

Ein weiteres Konstanzphänomen der visuellen Wahrnehmung ist die **Formkonstanz**. Sie tritt auf, wenn trotz perspektiver Verzerrungen von Objektumrissen die objektive Umrissform wiedererkannt und das Objekt klassifiziert wird. Auch sie basiert auf der Annahme, dass das menschliche Wahrnehmungssystem in der Umwelt insbesondere die *invarianten* Objekteigenschaften entdeckt (Albertz 1997, Zimbardo 1995, Kebeck 1991, vgl. Kap. 2). Die Formkonstanz wird jedoch gemindert, wenn Kontextreize ausbleiben, z. B. klassifizierbare Objekte oder fluchtende Linien der Perspektive (Kebeck 1991).

Bei der Gestaltung von *dynamischen* und *perspektivischen* kartographischen Darstellungsformen verdienen die Konstanzphänomene besondere Beachtung. So kann z. B. durch eine zu geringe Objektnähe des Betrachters der Raumbezug aufgehoben werden. In diesem Fall versagt die „objektive“ Wahrnehmung des Objektes, eine Erkennung findet nicht statt. Aufgehoben werden kann dieser Effekt durch die korrekte Gestaltung des zeitlichen Ablaufs unter Vermeidung von zeitlichen oder räumlichen Sprüngen. Sie sollten

stets eine beginnende Überblicksequenz beinhalten, damit dem Betrachter Gelegenheit zur Erkennung und Bildung von Invarianzen gegeben wird. So ist der in Abb. 4-12 dargestellte Körper nur dann klassifizierbar, wenn zuvor die Abb. 4-11 betrachtet wurde.

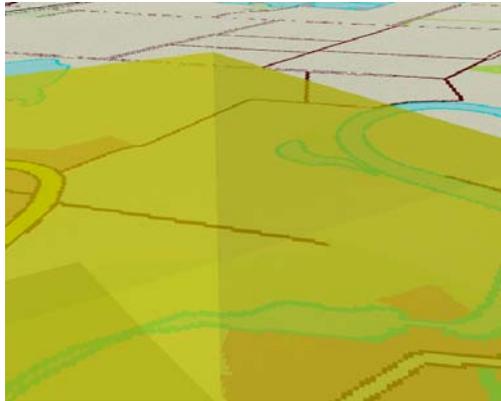


Abb. 4-12: Beispiel für eine perspektive Darstellung mit Verletzung der Formkonstanz. Nur mit Kenntnis der Abbildungen 4-11 kann diese Darstellung korrekt interpretiert werden.

#### 4.3.6.5 Die kartographische Bedeutung der Helligkeits- und Farbkonstanz am Beispiel von Geländeschummerungen

Ein Beispiel für die **Helligkeitskonstanz** ist die Wahrnehmung von schattierten bzw. geschummerten Flächen. Die Helligkeitskonstanz bewirkt, dass die Schatten nicht die Flächenwahrnehmung stören. Der schattierte Bereich ist objektiv zwar dunkler, er wird jedoch weiterhin der Fläche zugeordnet. Erst bei einem Helligkeitsverhältnis von etwa 10:1 zwischen dem nicht schattierten und dem schattierten Bereich verliert die Helligkeitskonstanz an Wirkung und es werden *unterschiedliche* Helligkeiten wahrgenommen, die zur Flächendifferenzierung führen. Untersuchungen haben gezeigt, dass die objektive Wahrnehmung schattierter Flächen durch verfügbare Vergleichsreize erheblich beeinflusst wird (Kebeck 1991). Sind sie nicht verfügbar, sind Fehlinterpretationen die Folge. Aus kartographischer Sicht müssen Helligkeitskonstanzen besonders bei Verwendung von geschummerten perspektiven Abbildungen berücksichtigt werden, da die starke Rücknahme der Helligkeit erforderlich ist, um der dritten Reliefdimension eine gewisse Tiefe zu geben. Die Wahrnehmung der Helligkeit farbiger Höhenschichten wird davon jedoch wenig beeinflusst solange Flächen höherer Helligkeit, z. B. die Lichtseiten der Gebirgsflanken, verfügbar sind (Abb. 4-13). Die Helligkeitskonstanz ermöglicht dann eine objektive Wahrnehmung der dem Licht abgewandten Bereiche.



Abb. 4-13: Schummerungsdarstellung eines Ausschnitts der Schweizer Alpen. Die Schummerung bewirkt eine schattenplastische Darstellung der Reliefformen. Trotz unterschiedlicher Helligkeit der Flanken wird keine Farbveränderung assoziiert. Dies ist ein Indiz für Helligkeits- und Farbkonstanz bei der Betrachtung der Abbildung (© Atlas der Schweiz, © DHM 25 Landestopographie Wabern).

Bereits im vorhergehenden Abschnitt wurde deutlich, dass trotz Veränderungen von Farbtonwerten durch Schattenwurf die objektive Farbwahrnehmung wenig beeinflusst wird, solange Vergleichsreize verfügbar sind und bestimmte Helligkeitsverhältnisse eingehalten werden. Die auf Farbhelligkeiten bezogenen Aussagen gelten auch für Farbtöne. Fallen die Vergleichsreize fort, z. B. durch Farbfilterung, so machen die gefilterten Farbtöne die *Farbkonstanz* aus. Kartographisch bedeutsam ist die Farbkonstanz in perspektivischen und Virtual-Reality-Darstellungen (5.2.2.8). Hier wirkt sie sich z. B. im Zusammenhang mit der Simulation von Licht, Schatten oder Nebelbildung besonders aus (Abb. 4-14).

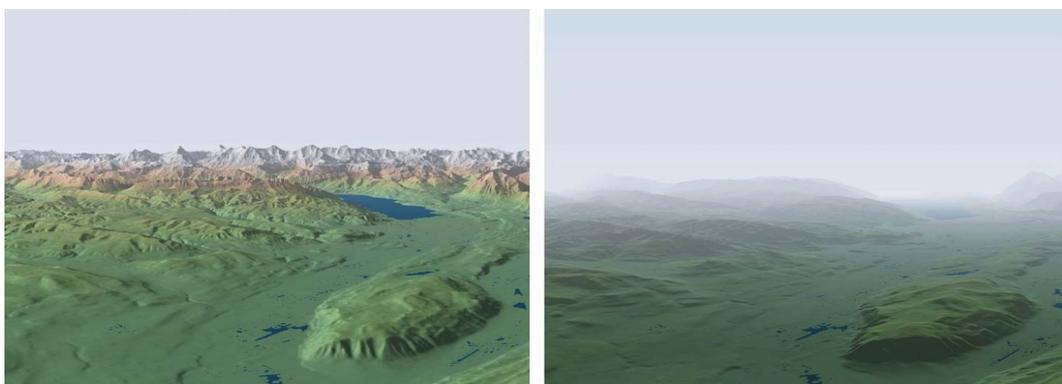


Abb. 4-14: Ein Beispiel zur Farbkonstanz. In a) wird die Farbkonstanz durch die gefilterten Farbtöne bestimmt. In b) wird die Farbwahrnehmung durch die wenig gefilterten Farben kaum beeinflusst. (© Atlas der Schweiz, © DHM 25 Landestopographie Wabern).

### **4.3.7 Mechanismen der mentalen Speicherung von Primär- und Tertiärmodellen der Umwelt**

#### **4.3.7.1 Vorbemerkungen**

Bislang wurden die kognitiven Verarbeitungsmechanismen beschrieben, die im ständigen Wechsel mit der Reizperzeption und dem Rückgriff auf verfügbares Wissen ablaufen. Bei den bisherigen Betrachtungen ist noch nicht diskutiert worden, wie letztendlich die mentalen Modelle der Umwelt als Wissen im Gedächtnis strukturiert und gespeichert werden. In diesem Abschnitt wird daher erörtert, welche Modelle der **Wissensspeicherung** existieren, wie sie funktionieren und welcher Einfluss auf die *audio-visuelle* Gestaltung kartographischer Darstellungsformen zu erwarten ist.

#### **4.3.7.2 Primäre und tertiäre Modelle der Umwelt als Ergebnis der integrativen und handlungsorientierten Verarbeitung von Geoinformationen**

Die Verwendung von audio-visuellen Informationsdarstellungen in kartographischen Multimediaprodukten führt zur Frage nach ihrer *gedanklichen Verarbeitung* und den damit verbundenen Vor- und Nachteilen im Vergleich zu herkömmlichen Karten.

Von *Ballstedt* (1990) stammt der Entwurf des theoretischen Modells der **integrativen Informationsverarbeitung**, der sich in ähnlicher Form auch in den Ansätzen von *Snodgrass* (1984) und *Hasebrook* (1995) wiederfindet (vgl. *Müller* 1987). Das Modell basiert auf der *dualen Kodierungstheorie* von *Paivio* (1986), der von einer *sinnesspezifischen* Reizverarbeitung und –speicherung ausgeht. Aufgrund seiner Untersuchungen zur audio-visuellen Wahrnehmung stellt *Paivio* (1986) fest, dass

- Sprache Vorstellungen auslösen kann,
- Bilder verbalisiert werden können,
- die Verbalisierung von Bildern leichter ist, als die Erzeugung von Vorstellungen mittels Sprache,
- verbale Abstrakta nicht verbildlicht werden können und
- die Nutzung beider Sinneskanäle eine Verbesserung des Lernens bewirkt.

Für die Interaktion zwischen dem auditiven und dem visuellen Bewusstseinsystem nutzt *Ballstedt* (1990) die Theorie eines *einheitlichen mentalen Wissensspeichers* von *Pylyshyn* (1981). In diesem Wissensspeicher werden die Informationen unabhängig von ihrer Modalität (amodal) abgelegt. Es entsteht ein Netzwerk aus Schemata, Konzepten und Relationen. Es wird als *Proposition* bezeichnet und ist eine komplexe Einheit, die alle Wissensarten einschließt.

Zur Bildung von Propositionen ist die Transformation von modalen Informationen in amodale Gedächtnisrepräsentationen notwendig, so dass zwischen allen perzipierten Reizen eine Konkurrenzsituation eintritt, die durch *Informationsselektion* gelöst wird. Es ergibt sich aus diesem Teilmodell die Annahme eines *ganzheitlichen* Bewusstseins, das Informationen zusammenhängend und integrativ verarbeitet.

Neuere Untersuchungen haben zu einer Erweiterung dieses Modells um Modalitäten wie z. B. *Bewegung*, *Musik* usw. geführt. Dieser Ansatz wird als **multimodale Gedächtnistheorie** bezeichnet (Engelkamp 1991/1997). Engelkamp (1991/1997) weist zudem nach, dass *eigenes Handeln* die Behaltensleistung positiv beeinflusst. Daraus ergibt sich, dass eine Verbesserung der Tertiärmodellbildung durch *Interaktion* zu erwarten ist.

Kernbausteine der Theorie sind die *konzeptbildenden* Prozesse und die Konzepte selbst. *Konzepte* sind semantische Repräsentationen, die auf der Basis von sensorischen Repräsentationen (sog. Marken) im konzeptuellen Speicher des episodischen Langzeitgedächtnisses gebildet und als Propositionen gespeichert werden. Mit ihnen ist die Behaltensleistung verknüpft. *Bilder* und *motorische Handlungen* bewirken die Konzeptbildung und sind daher sehr bedeutsam für das Behalten. Sie können über verbale Gedächtnisrepräsentationen aktiviert werden, z. B. durch Begriffe. Konzepte dienen zudem als Auslöser von *Programmen*. Sie kontrollieren Handlungsabläufe. Dazu zählen z. B. das motorische Handeln, das Sprechen, das Schreiben, das Beobachten usw. In Folge dessen werden neue Reize und Informationen dem Gedächtnis zugeführt, so dass der von Neisser (1967) begründete Wahrnehmungszyklus auch in dieser Theorie erkennbar ist.

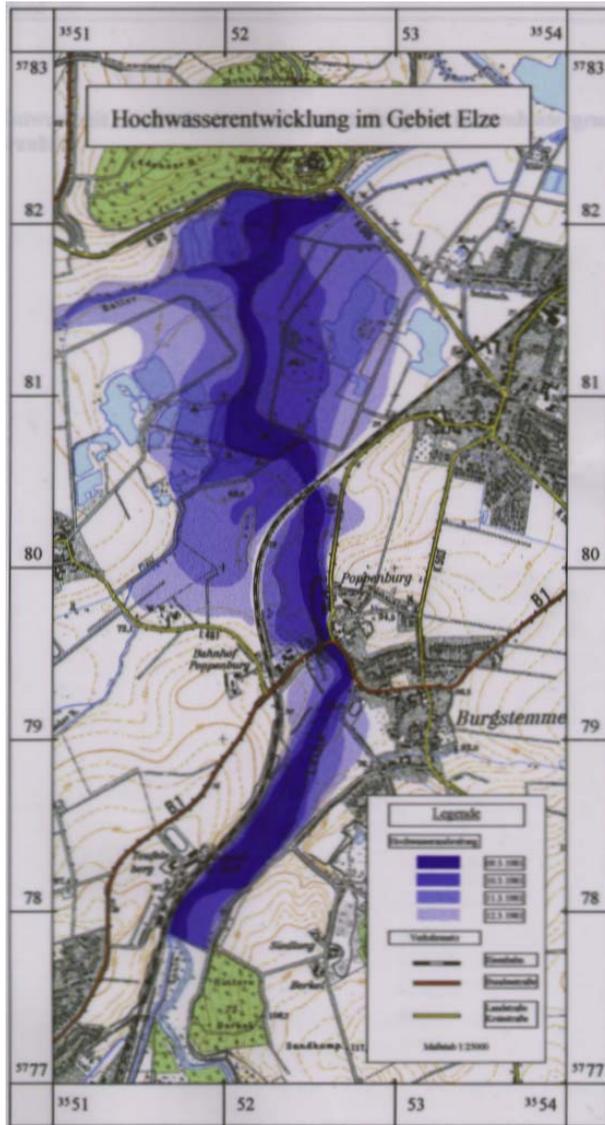


Abb. 4-15: Topographisch-thematische Karte mit Darstellung von Überflutungsflächen und -zeiten (Lagemann 1996)

*Bilder* und *motorische Handlungen* bewirken die Konzeptbildung und sind daher sehr bedeutsam für das Behalten. Sie können über verbale Gedächtnisrepräsentationen aktiviert werden, z. B. durch Begriffe. Konzepte dienen zudem als Auslöser von *Programmen*. Sie kontrollieren Handlungsabläufe. Dazu zählen z. B. das motorische Handeln, das Sprechen, das Schreiben, das Beobachten usw. In Folge dessen werden neue Reize und Informationen dem Gedächtnis zugeführt, so dass der von Neisser (1967) begründete Wahrnehmungszyklus auch in dieser Theorie erkennbar ist.

In *kartographischer Hinsicht* ist die multimodale Gedächtnistheorie insofern von Bedeutung, als dass sie die Gedächtniseffekte, die aus *eigenem Handeln* resultieren, berücksichtigt. Auswirkungen auf die Behaltensleistung, hervorgerufen durch den praktischen Gebrauch von Karten oder kartographischen Informationssystemen, können damit beschrieben werden. Dieser Sachverhalt lässt den Schluss zu, dass

Multimedia-Technologie in Verbindung mit Interaktivität zur Verbesserung von kartographischen Tertiärmodellen der Umwelt führen sollte.

Ein **Beispiel aus der Kartographie** soll die praktische Bedeutung der multimodalen Wissensbildung illustrieren. Die Darstellung in Abbildung 4-15 zeigt den Ausschnitt einer komplex-analytischen Karte. Dargestellt ist die Topographie eines Überflutungsgebietes und die überfluteten Bereiche mit ihren Grenzen. Der erfahrene Kartennutzer wird wenig Schwierigkeiten haben, eine Vorstellung von der Landschaft zu gewinnen. Einerseits wird dies durch das vertraute Bild der TK 25 bewirkt, andererseits verfügt der Kartennutzer über ein *kartographisches Bildmarkensystem* und ergänzendes semantisches Wissen. Für ihn kann auf eine erläuternde topographische Legende verzichtet werden. Bei der thematischen Komponente der Karte ist der Sachverhalt anders. Zwar lässt der Kartentitel und die assoziative Farbgestaltung des überfluteten Bereichs schnell vermuten, dass die blauen Flächen Überflutungsflächen sind, jedoch ist für die Interpretation der zeitlichen Komponente die Vermittlung von Zusatzinformation notwendig. Sie wird der Legende entnommen und der Nutzer gewinnt die Erkenntnis, dass die Helligkeitsvariation des Farbtons jeweils die tägliche Änderung der Überschwemmung anzeigt. Darüber hinaus wird erkannt, dass am dritten und vierten Tage jeweils größere flächenhafte Beeinträchtigungen zu verzeichnen waren.

Bei diesem Prozess des Kartenlesens und der Karteninterpretation wird zunächst auf der Gedächtnisebene der Bildmarken das graphische Muster analysiert und gespeichert, während Denkprozesse zu einer komplexen konzeptuellen Vorstellung des Überflutungsgeschehens führen (sog. diskursive Proposition). Entstehen beim Nutzer weitere Fragen, z. B. nach dem Inhalt der überfluteten Fläche, so löst dies motorische Aktionen (z. B. Auslösen einer GIS-Operation für die Flächenberechnung) aus. Die propositionale Einheit bestünde in diesem Fall aus der Zeichensemantik, den konzeptuellen Verweis auf digitale kartometrische Hilfsmittel und der Interpretation der aus der Hilfsmittelanwendung gewonnenen Informationen.

#### 4.3.7.3 *Organisation und Prinzipien der Speicherung von primären und tertiären Umweltmodellen*

Ungeklärt blieb bislang, welche Informationen für die Informationsverarbeitung selektiert werden, warum eine Informationsselektion erfolgt und welcher Zeitbedarf dafür benötigt wird. Um diese Fragestellungen zu beantworten, ist eine nähere Betrachtung der **Gedächtnisorganisation** und der *Gedächtnisprozesse* notwendig.

Der Speicher menschlichen Wissens ist das Gedächtnis. *Es ist ein aktiv wahrnehmendes kognitives System, das Information aufnimmt, enkodiert, modifiziert und wieder abrufen* (Zimbardo 1995). Mit Hilfe des Gedächtnisses wird der Mensch in die Lage versetzt, *aktiv* Informationsverarbeitung zu betreiben. Das kartographische Tertiärmodell der Umwelt wird hier mit anderen mentalen Modellen – z. B. Erinnerungen an die Örtlichkeit –, verglichen und bewertet.

Weitere *konstruktive Gedächtnisprozesse* schließen sich an, z. B. Überlegungen zur Planung von Bauwerken, Verkehrswegen usw. Letztendlich kommen Entscheidungen hinzu, die zur weiteren Informationsbeschaffung (z. B. per Interaktion mit einem KIS) oder zur Realisierung von Planungsszenarien führen können.

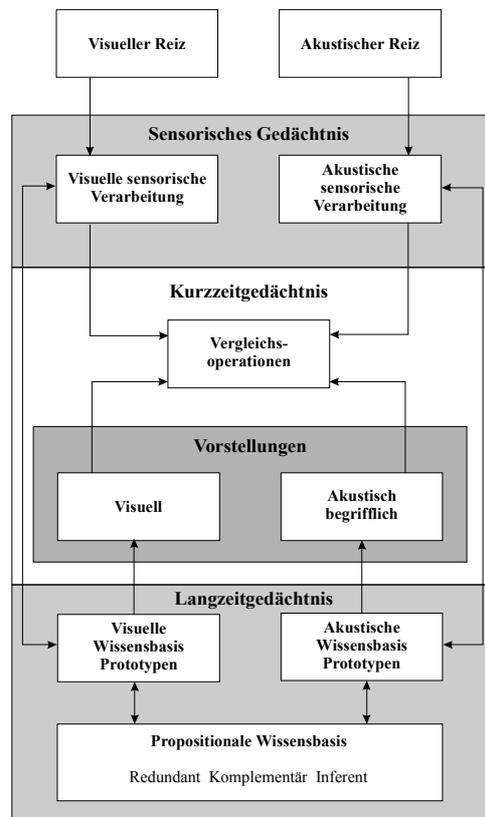


Abb. 4-16: Modell der Wort- und Bildverarbeitung (nach Ballstedt 1990, Snodgrass 1984, Müller 1989)

Die dafür notwendigen *Gedächtnisprozesse* (Wiedererkennung, Wiederholung, Klassifizierung, Bewertung, Schemaaktivierung, Konzeptgenerierung usw.) laufen nach der *modalitätsspezifischen Informationszuführung* durch das *sensorische Gedächtnis* im Wechselspiel zwischen dem *Kurz-* und *Langzeitgedächtnis* ab (Snodgrass 1984, Zimbardo 1995, Hasebrook 1995, Mietzel 1996, siehe Abb. 4-16). Die Klangbilder des akustischen Kanals und die Piktogramme (Ikonen) bzw. Bildmarken des visuellen Kanals werden mit bereits vorhandenen Prototypen (Konzepten, Schemata) verglichen und zugeordnet oder als neuer Prototyp abgelegt. Auf dieser Ebene ist das „innerliche Sprechen“ und die Generierung „visueller Vorstellungen“ möglich. Auditives und visuelles System sind miteinander verknüpft, so dass Verbindungen zwischen verbalen und visuellen Imaginationen hergestellt werden können.

Welche Information in welchem Gedächtnissystem gespeichert wird, bestimmen unterschiedliche Faktoren, die einerseits motivationaler Natur sind; andererseits aber auch durch eine entsprechende kartographisch-multimediale Gestaltung hervorgerufen werden können.

Für eine zweckgerechte Gestaltung von Geodaten ist nun wichtig zu wissen, *wofür* der Rezipient die entsprechende Information benötigt. Vielleicht reicht es aus, für die Beantwortung einer Fragestellung kurzfristig eine bestimmte Information anzubieten, die nach gelöster Aufgabe bereits ihren Zweck erfüllt hat. Andere Informationen, z. B. die Grenzlinien eines von Planungsmaßnahmen betroffenen Gebietes, bedürfen vielleicht der Spei-

cherung im Langzeitgedächtnis, damit sie zu einem späteren Zeitpunkt zwecks Diskussion oder Entscheidungsfindung wieder verfügbar sind. In diesem Fall ist sowohl die *Präsentationsdauer* als auch die *Präsentationsart* entsprechend zu gestalten.

Im **sensorischen Gedächtnis (SG)** wird die rezeptorenbezogene Informationsverarbeitung modal durchgeführt. Es speichert nur *ultrakurzzeitig* (ca. 1 bis 2 Sekunden) die Reizimpressionen unterschiedlicher Kanäle und Modalitäten (Kap. 3). Sie werden auch als *sensorische Register* bezeichnet (Atkinson u. Shiffrin 1968, Mietzel 1996). Anhand von Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass sensorische Impressionen über verschiedene Zeiträume erinnert werden. Die als *Ikonen* (Bildmarken) bezeichneten bildhaften Reizimpressionen werden ca. 0.5 Sekunden lang erinnert und zerfallen dann (Neisser 1967). *Echos*, die akustischen Reizimpressionen, sind hingegen mehrere Sekunden der Erinnerung zugänglich (Schermer 1991).

Untersuchungen zur *Behaltensleistung* des sensorischen Gedächtnisses wurden von Sperling (1960) durchgeführt. Buchstabenfolgen wurden kurzzeitig (50 msec) Versuchspersonen gezeigt. Sie konnten 4.5 Buchstaben durchschnittlich frei erinnern (Schermer 1991). Buchstabenfolgen, die um typische Einzeltöne ergänzt und als Teilfolge abgerufen wurden, konnten jedoch nahezu fehlerfrei als Teilfolge wiedergegeben werden. Eine Abrufverzögerung um 1.0 sec führte zu Ergebnissen, die mit dem freien Erinnern identisch waren. Die Untersuchungen führten zu dem Ergebnis, dass in einer Zeitspanne bis maximal 500 msec sensorisch wahrgenommene Informationseinheiten der *bewussten* Erinnerung zur Verfügung stehen (Schermer 1991, Mietzel 1996).

Die *Klassifikation von Informationen*, z. B. durch ein zusätzliches Merkmal in der Reizvorlage, scheint zur kurzzeitigen Kapazitätssteigerung zu führen. Nach der sensorischen Wahrnehmung zerfallen die Informationen durch Nicht-Erinnern, nach dem Übergang in das Kurzzeitgedächtnis, oder durch Überschreiben mit neuen und ähnlichen Informationen. Eine bewusste begriffliche Zuordnung oder Klassifizierung erfolgt im sensorischen Gedächtnis nicht. Es arbeitet *präkategorial* (Zimbardo 1995).

Das **Kurzzeitgedächtnis (KZG)** übernimmt Informationen aus dem sensorischen oder dem Langzeitgedächtnis in sequentieller Folge. Eine alternative Modellvorstellung zum Kurzzeitgedächtnis ist das *Arbeitsgedächtnis* (Hasebrook 1995). Es ist als *bewusst kontrolliertes* Kurzzeitgedächtnis zu verstehen, dessen Aufgabe die *temporale Bereitstellung von Informationseinheiten* ist.

Eine zentrale *Aufmerksamkeitskontrolle* verwaltet die Informationen kanalgetrennt im visuell-räumlichen und sprachlich-akustischen Gedächtnis. Die Informationen werden über einen Zeitraum von ca. 10-30 Sekunden gespeichert (Mietzel 1996, Hasebrook 1995, Schermer 1991). Sie können durch *bewusste Kontrolle* und *ständiges Wiederholen* (sog. *erhaltende Wiederholung*) auch länger im KZG aktiviert werden. Tritt während der Wiederholungsphase Ablenkung ein, so reduziert sich die Wiedergabe (Schermer 1991).

Die *Speicherkapazität* des KZG beträgt bei unkonzentrierter Informationsverarbeitung  $4 \pm 2$  Informationseinheiten (Card u. a. 1983) und bei konzentrierter Informationsverarbeitung  $7 \pm 2$  (Miller 1956, vgl. Schermer 1991). Die Informationseinheiten können einzelne Reize sein, aber auch nach Bedeutung gruppierte Elemente, die sog. *Chunks* (vgl. Abschnitt 4.3.7.4).

An dieser Stelle sei angemerkt, dass die zu diesen Zahlenangaben führenden Untersuchungen vorwiegend mit der Erinnerung von Zahlen-, Buchstaben- oder Wortangaben durch Versuchspersonen ermittelt wurden. Untersuchungen mit graphischer oder kartographischer Motivation, die sich auf die Wahrnehmung der Informationseinheiten visueller oder audio-visueller Reizvorlagen beziehen, sind nicht bekannt. Kartographisch interessant ist daher die Beantwortung der Frage, *welche Informationseinheiten bei welchen kartographischen Aufgabenstellungen, in welchen Situationen und nach welchen Kriterien gebildet werden.*

Das **Langzeitgedächtnis (LZG)** umfasst das *Weltwissen*. Seine Funktion ist die dauerhafte Abbildung, sowie die störresistente und zeitstabile Einlagerung von Informationen (nach Klix zitiert von Schermer (1991)). Hier wird konzeptuell bzw. propositional verarbeitet. Dies führt zur Speicherung von modalitätsspezifischen Informationen in einem *einheitlichen Format* und unabhängig von ihrer Herkunft (amodal). Dadurch ist eine *Verstärkung* der erhaltenen Informationen und ihre *gegenseitige Assoziation* möglich (vgl. Abschnitt 4.3.7.2, Palm 1990).

Für die Speicherung im Langzeitgedächtnis existieren nach Ballstedt (1990) drei Möglichkeiten der amodalen Verarbeitung, die auch kartographisch bedeutsam sind:

- die **redundante** Verarbeitung,
- die **komplementäre** Verarbeitung und
- die **inferente** Verarbeitung.

Die amodale Informationsverarbeitung nach dem **Redundanzkonzept** erfolgt, wenn visuell und verbal identische Informationen verarbeitet werden.



Abb. 4-17: Darstellung eines Kartensymbols nach dem Redundanzkonzept. Der Text kann sowohl auf dem visuellen als auch auf dem akustischen Kanal übertragen werden.

Als kartographisches Beispiel mögen hier kartographische Symbole dienen, die zugleich textuell bzw. verbal benannt werden. Ein Anwendungsbeispiel dafür ist die audio-visuelle Erläuterung von Kartenobjekten in einer Legende oder bei sog. *Mouse-Over Operationen* in einer interaktiven Karte (siehe Abb. 4-17, vgl. Muller u. Grebe 2000).

Wenn sich unterschiedliche modale Informationen gegenseitig ergänzen, erfolgt die amodale Informationsverarbeitung nach dem **Komplementaritätskonzept**. Grundlage dafür ist ein Schema, das die durch die Wahrnehmung aktivierten Konzepte miteinander verknüpft. *Vorwissen* ist erforderlich.

Ein Beispiel dafür zeigt Abbildung 4-18. Gezeigt werden der Bevölkerungszuwachs im Großraum von Zürich und die Abnahme der Bevölkerung im Stadtgebiet. Der textuelle Hinweis „Stadtflucht“ ergänzt die graphische Darstellung und gibt zugleich einen Hinweis auf die Ursache der Bevölkerungszunahme.

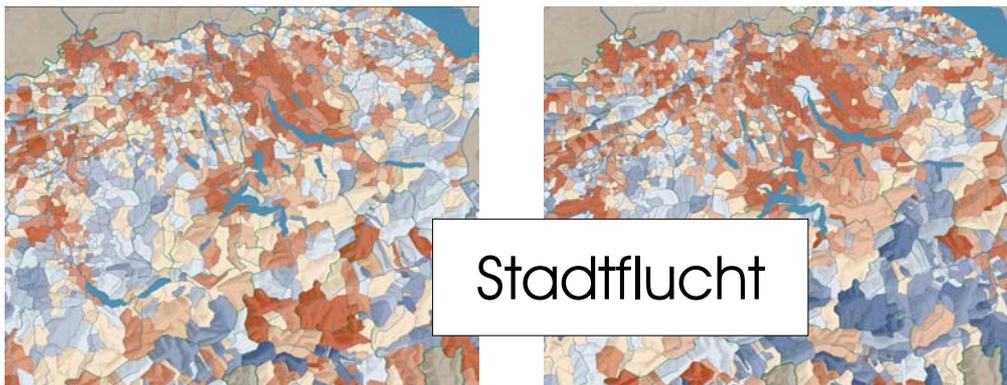


Abb. 4-18: Die dargestellten Animationsszenen verdeutlichen die Bevölkerungszunahme mit Großraum von Zürich und zugleich die Bevölkerungsabnahme im Stadtgebiet. Die Textinformation erläutert den Sachverhalt (© Atlas der Schweiz).

Den höchsten mentalen Verarbeitungsaufwand erfordert das **Inferenzkonzept**. Es setzt Vorwissen bei den Rezipienten voraus und zusätzlich die Fähigkeit zum Schlussfolgern. Dadurch ergibt sich eine Information aus der anderen, und eine Relation zwischen beiden wird gebildet, die zu diskursivem Wissen führt. Dies bedingt eine *bewusste* mentale Informationsverarbeitung und erfordert zugleich einen gewissen Zeitaufwand. Dieser ist insbesondere bei kartographischen Animationen zu berücksichtigen, da sie zeitlich besonders gebunden sind. Als Extremergebnis dieses Verarbeitungsprozesses ergibt sich entweder ein besonders nachhaltiger Wissenserwerb oder ein Nicht-Verstehen der Information.

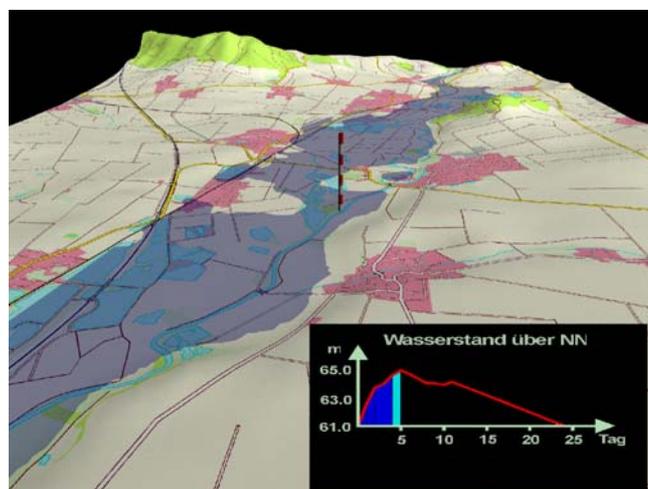


Abb. 4-19: Der deutliche akustische Hinweis auf die Überflutungsdauer lässt den Betrachter die gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Auswirkungen der Überflutung erahnen. Der Rezipient muss allerdings über diesbezügliches Vorwissen verfügen (CD-Beispiel 4).

Ein Beispiel dafür ist die **kartographische Animation eines Überflutungsprozesses** (vgl. Buziek 1997a, 1998, 6.2.2). Sie wird ergänzt durch verbale und musikalische Informationen bezüglich der Überflutungsdauer. Die kartographische Visualisierung zeigt, welche Gebiete und topographischen Objekte betroffen sind. Die verbale Zeitinformation

ermöglicht eine individuelle Vorstellung des Sachverhalts und der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Prozessauswirkungen. Weiterer, individueller Informationsbedarf wird dadurch beim Rezipienten geweckt. Er kann durch kartographische Animationen nicht befriedigt werden (vgl. 5.5). Hier sind interaktive kartographische Darstellungsformen sinnvoll einsetzbar (6.3).

Für kartographische Arbeiten ergeben sich aus den drei Konzepten der amodalen Informationsverarbeitung die folgenden **Gestaltungsprinzipien**:

1. Das **Redundanzprinzip** sollte für reine Lernzwecke verwendet werden. Ziel ist die Schaffung von Vorwissen und themenspezifischen Wissensbasen.
2. Das **Komplementaritätsprinzip** setzt bei der Zielgruppe Vorwissen voraus. Es ermöglicht abwechslungsreiche Informationsdarbietung und fördert mentale Aktivitäten während der Informationsverarbeitung.
3. Das **Inferenzprinzip** basiert auf der Fähigkeit des Schlussfolgerns. Es setzt genaue Kenntnis über den Wissensstand der Zielgruppe voraus und ermöglicht die Informationsentlastung der Darstellungsform um diejenigen Informationen, die durch individuelle Logik und Vorwissen in den Prozess der Informationsverarbeitung eingebracht werden.

#### 4.3.7.4 Faktoren und Einflüsse auf mentale Prozesse bei der Generierung von primären und tertiären Umweltmodellen

Bei der Verarbeitung von visuellen und auditiven Informationen werden *mentale Gedächtnisprozesse* ausgeführt. Sie umfassen *Aufmerksamkeits-, motorische Reproduktions- und Motivationsprozesse*. Das Individuum lernt und bildet Wissen. Dieser Prozess wird in der Lerntheorie von *Bandura* beschrieben (vgl. Müller 1987, Buziek 1998, 2000). Der Wissensbildungsprozess umfasst drei maßgebliche Stufen. Es sind

- die **Enkodierung** von Reizen,
- die **Speicherung** von bearbeiteten Reizinformationen und
- der **Wissensabruf**.

Voraussetzung für die Verarbeitung von Sinnesreizen ist die **selektive Aufmerksamkeit**. Es ist ein Prozess des Kurzzeitgedächtnisses, der zur Übergabe von präkategorialen Reizinformationen aus dem sensorischen Gedächtnis in das KZG führt. Er bestimmt, welche Informationen der weiteren Verarbeitung zugeführt werden (Mietzel 1996). Nur Informationen die diesen Zugang finden, werden *bewusst* einer Verarbeitung unterzogen und später dem LZG übergeben.

Eine maßgebliche Gestaltungsaufgabe der audio-visuellen Kartographie ist daher, wichtige Informationen derart darzustellen, dass mit hoher Sicherheitswahrscheinlichkeit die Übertragung in das KZG gewährleistet ist. Die selektive Aufmerksamkeit muss zu diesem Zweck auf die wesentlichen Informationen gelenkt werden. Dies kann z. B. durch die Variation der graphischen Variablen (vgl. 5.4) geschehen und die deutliche Differenzierung von Kartenobjekten zu ihrer Umgebung.

Für die kartographische Gestaltung ist daher wichtig zu wissen, welche Faktoren die **Aufmerksamkeitssteuerung** beeinflussen. *Zimbardo* (1995) unterscheidet zwischen *äußeren* und *inneren* Faktoren. Zu den *äußeren Faktoren* der Aufmerksamkeit zählen:

- die **Reizintensität**, z. B. die Lautstärke eines Tones oder die Helligkeit einer Farbe,
- die **Reizveränderlichkeit**, z. B. die Frequenz einer blinkenden Signatur,
- die **Reizauffälligkeit**, z. B. die Unterschiedlichkeit zu weiteren Reizen und
- die **Erwartungstreue** eines Reizes. Sie steht in einem reziproken Verhältnis zur Aufmerksamkeit.

Die *inneren Faktoren* der Aufmerksamkeit sind individueller Natur. Es sind:

- das **individuelle Wissen**, es sensibilisiert das Individuum für Reize und Zusammenhänge,
- die individuellen **Aktivitäten**, und
- individuelle psychologische und physiologische **Zustände**, z. B. Freude, Interesse oder Desinteresse.

Generell wird Aufmerksamkeit heute als gradueller Prozess beschrieben, in dem sich zurückliegende Lernerfahrungen auswirken. Es kann davon ausgegangen werden, dass mindestens *ein* Kommunikationskanal bewusst wahrgenommen wird. Von den Reizen anderer Kanäle wurde zunächst angenommen, dass sie abgeblockt wurden (Broadbent 1958). Untersuchungen zeigten jedoch, dass Bedeutungen aus angeblich abgeblockten Informationen erkannt wurden, so dass eine unbewusste (prä-attentive) Verarbeitung von Informationen, die nicht im Schwerpunkt der Aufmerksamkeit liegen, unterstellt werden kann (SpdW 1986, 1990). Es kann daher die Hypothese aufgestellt werden, dass Sinnesreize trotz "unbewusster Wahrnehmung" generell Zugang zum Bewusstsein finden. Sie werden zusätzlich in der gebildeten Gedächtnisstruktur verankert und verbessern die **Nachhaltigkeit des Wissens** und den Zugriff darauf. Aus dem Alltagsleben ist bekannt, dass Vergessenes oftmals durch die Wiederholung von Tätigkeiten (die zum Zeitpunkt des bewussten Denkens an das später Vergessene ausgeführt wurden) zu einem Erinnern führen kann. Ebenso können zusätzliche Informationen einer multimedialen Informationsdarstellung, z. B. Musik, Unterhaltungselemente usw., diesen Effekt herbeiführen und den Wissensabruf und das Erinnern verbessern.

Aus kartographischer Sicht sind diese Kenntnisse wichtig, damit eine gezielte Informationsübertragung bei Bedarf initiiert werden kann, obwohl sich der Nutzer auf eine andere Aufgabe konzentriert. Die äußeren Aufmerksamkeitsfaktoren stehen daher ständig in Konkurrenz mit inneren Aufmerksamkeitsfaktoren, die durch das individuelle Wissen bestimmt werden.

Der Erfolg äußerer Aufmerksamkeitsreize wird vermutlich durch ihre **Andersartigkeit** gegenüber den im Schwerpunkt der inneren Aufmerksamkeit liegenden Informationen bestimmt. Konzentriert der Nutzer seine Aufmerksamkeit auf Graphik, dürften akustische Aufmerksamkeitsreize erfolgversprechend sein und umgekehrt. Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Reizdifferenzierbarkeit, die z. B. durch *Extremreize* erzielt werden kann (vgl. Abschnitte 3.2 und 3.3).

Der Wissensbildungsprozess wird durch die **semantische Gruppierung** der zu verarbeitenden Informationen zusätzlich optimiert. *Informationsgruppen (Chunks)* sind bedeu-

tungstragende Informationseinheiten des Kurzzeitgedächtnisses. Mit *Chunking* wird der mentale Prozess bezeichnet, der zu ihrer Bildung führt. Er basiert auf individuellen Organisationsprinzipien. Dies können Gesetze der Gestalttheorie sein, aber auch logische oder assoziative Zusammenhänge (Konzepte, Schemata, Propositionen). Darüber hinaus beeinflussen die Aufgabenstellung und die Zielsetzung der bewussten Wahrnehmung die Informationsgruppierung (vgl. Palm 1990, Zimbardo 1995).

Die Informationsgruppierung geht auf *Miller* (1956) zurück. *Miller* bestimmte anhand der *freien Erinnerung von Buchstaben und Zahlenfolgen* die durchschnittliche Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses (mit Unterstützung durch das LZG) auf  $7 \pm 2$  Informationseinheiten. Bei oberflächlicher Wahrnehmung sinkt die Anzahl auf durchschnittlich  $4 \pm 2$  Informationseinheiten (Card u. a. 1983). Die Informationsgruppierung kann erfolgen nach:

- **Ähnlichkeitskriterien**, z. B. Ähnlichkeit, Gleichartigkeit, gemeinsames Schicksal, glatter Verlauf, Geschlossenheit usw.
- **Bedeutungen**, z. B. bedeutsam für die Lösung einer Aufgabe oder nicht, oder
- anderen **Ordnungs-** und **Organisationsprinzipien** wie z. B. der räumlichen Anordnung, der Form, Farbe, Füllung, Lautheit, Klangfarbe usw..

**Gruppierung, Ordnung und Organisation von Informationen** sind folglich wichtig für eine effiziente Informationsvermittlung. Dieser Sachverhalt sollte gestalterisch berücksichtigt werden, damit eine optimale Nutzung der Kurzzeitgedächtniskapazität bewirkt wird. Dies ist eine bedeutsame Forderung für die Optimierung des kartographischen Informationsverarbeitungssystems, das maßgeblich auf der sequentiellen Nutzung mehrerer kurzzeitiger kartographischer Darstellungsformen beruht, die durch Interaktionen entstehen. Für Analysezwecke wird ihr Inhalt mental zu *einer* kognitiven Karte, bzw. dem Tertiärmodell der Umwelt. Anregungen zur kartographisch motivierten Untersuchung dieses Sachverhalts enthält Kapitel 7.

Ein weiterer wichtiger mentaler Prozess der Primär- und Tertiärmodellgenerierung ist die **Wiedererkennung**. Wiedererkennung ist ein *bewusster* Vorgang, dessen Aufgabe der Vergleich von aktuellen Reizinformationen des KZG mit verfügbarem individuellem Wissen des LZG ist (Zimbardo 1995). Der Wiedererkennungsmechanismus bewirkt die *Reduktion von kognitiven Operationen*. Er optimiert den Wahrnehmungsvorgang und den Wissenserwerb. Wiedererkennung ist stark individuell geprägt und basiert auf dem verfügbaren Weltwissen. Die Wiedererkennung dient zusätzlich auch dem *Wissensabruf* aus dem LZG. Auslöser dafür sind externe Reizinformationen, die gleichzeitig *Hinweisreize* auf die gesuchte Information sind. Sie helfen dem Individuum Wissen des LZG zu erschließen, dem Bewusstsein zuzuführen und im KZG verfügbar zu machen. Die Wiedererkennung hängt ferner von den verfügbaren Propositionen ab.

In der kartographischen Gestaltungslehre wird das Prinzip der Wiedererkennung seit langem unterstützt. Gestaltungsprinzipien wie *Gleiches gleich abbilden* (Hake u. Grünreich 1994) sind ein Beispiel dafür. Eine Missachtung dieses Prinzips führt nicht nur zu einer Steigerung der kognitiven Verarbeitungszeit, sondern auch zu Verunsicherung und Zweifel und damit verbundenen *Störungen*. Die verfügbaren Reizinformationen reichen in diesen Fällen nicht aus, die für eine Wiedererkennung maßgeblichen Objektmerkmale zu vermitteln. Beispiele hierfür sind die Abbildung 4-10a, in der die willkürliche Farbgebung

die sofortige Erkennung der Kontinentalflächen verhindert, oder die Abbildung 4-12, in der durch zu große Objektannäherung die räumliche Quadersignatur nur schwer erkennbar ist. Letzteres ist ein generelles Problem der sonst recht anschaulichen perspektivischen Darstellungsformen in Verbindung mit navigatorischer Interaktion (5.5).



Abb. 4-20: Reizvorlage zum Einprägen der Ortschaft Jeinsen: Wiederholen Sie gedanklich den Ortsnamen und merken Sie sich die graphische Form der Ortschaft durch konzentriertes Betrachten unter Filterung eines oder mehrerer charakteristischer Merkmale

Eine weitere mentale Operation der Wissensbildung ist das **Wiederholen**. Sie wird mit dem Ziel ausgeführt, Informationen über längere Zeit im KZG zu halten, damit sie für die Lösung von Aufgaben zur Verfügung stehen. Im einfachsten Fall wird eine Information gedanklich wiederholt. Dies kann sowohl verbal/textuell und/oder visuell geschehen. Betrachten Sie bitte die Abbildung 4-20 mit dem Ziel, sich die Form der Ortschaft *Jeinsen* einzuprägen, damit sie z. B. während einer Autofahrt auf der Karte schnell wiedererkannt wird. Wahrscheinlich werden Sie dazu den Umriss der Ortschaftsdarstellung genauer betrachten und den Ortschaftsnamen einige Male gedanklich wiederholen. Ortschaftsform und -name werden dadurch im KZG gehalten und in das LZG überführt. Dieser Vorgang wird daher als *erhaltendes Wiederholen* bezeichnet.

Besonders nachhaltig wird die Information gespeichert, wenn **Assoziationen** mit ihr verknüpft werden können (Palm 1990). Dazu ist die gedankliche Elaboration der Reizvorlage notwendig. Sie kann zur Bildung von sog. *Eselsbrücken* führen, zur Entdeckung weiterer Merkmale oder zur Integration zusätzlicher Informationen. Ergebnis kann z. B. die Erkenntnis sein, dass der Großbuchstabe **J** des Wortes "Jeinsen" annähernd der Form der westlichen Ortschaftshälfte entspricht oder dass die Ortschaft an den Westrand des Leinetales angrenzt (Abb. 4-20).

Das Wiederholen in den hier aufgezeigten Varianten kann sowohl individuell im Zuge der *selektiven Wahrnehmung* ausgeführt werden als auch autorenkontrolliert durch eine entsprechende Gestaltung der Reizvorlage.

In kartographischen Animationen kann Wiederholung bewusst als Gestaltungsmittel eingesetzt werden um verständnisunterstützende Informationen im KZG des Rezipienten aktiv zu halten. In multimedialen Umgebungen kann durch wiederholten individuellen

Zugriff auf eine Information ihr Behalten bewirkt werden. Weitere Unterstützung ist durch Trainingsmodule oder digitale Kartenassistenten möglich.

#### **4.3.8 Zeitliche Aspekte der Wissensbildung und die zeitlich-sequentielle Informationsdarbietung**

##### **4.3.8.1 Allgemeines**

**Zeitliche Aspekte** der menschlichen Informationsverarbeitung wurden bisher nur am Rande erwähnt, z. B. in Zusammenhang mit mentalen Operationen des Kurzzeitgedächtnisses. Kenntnisse darüber gewinnen jedoch zunehmend an Bedeutung, wenn zeitlich-sequentielle raumbezogene Abläufe zu visualisieren sind und die Betrachtungszeit nicht mehr individuell bestimmt werden kann.

Ein Beispiel dafür sind kartographische Animationen (Dransch 1995/97a, Buziek 1997a, Buziek u. a. 2000). *Sie laufen nach einem zuvor festgelegten Drehbuch* ab und sind i. d. R. individuell nur eingeschränkt steuerbar. Der Betrachter kann seine Wahrnehmungsstrategie nur bedingt einsetzen, so dass gestalterisch bereits der *Zeitbedarf* der menschlichen Informationsverarbeitung berücksichtigt werden muss. Die zweckmäßige Gestaltung dieser Darstellungsform erfordert daher beim Autoren *Kenntnisse über die Wahrnehmungsgewohnheiten und den damit verbundenen Zeitbedarf*.

Ein weiteres Beispiel sind kartographische Darstellungen, die sukzessiv aufdatiert und dadurch inhaltlich verändert werden. Dies ist z. B. bei der Echtzeitintegration und -darstellung von Sensordaten der Fall. Elektronische Seekarten (Hecht 1995, Malie 1997, Woodsford 1997, Hecht u. a. 1999) und Bildschirmkarten für Umwelt- oder Verkehrsmonitoring (Emmerich 1998) sind Vertreter dieser Gattung. Bei ihnen kommt es besonders darauf an, dass kritische Zustände des beobachteten Prozesses prägnant dargestellt werden, so dass bei Bedarf unverzüglich gehandelt werden kann (vgl. Kluwe u. Schulze 1994). Wichtigster Parameter bei der Gestaltung dieser Darstellungsformen ist die *maximale Anzahl wahrnehmbarer Informationen je Zeiteinheit* (vgl. Abschnitt 4.3.7.4). Vor diesem Hintergrund ergeben sich die Fragen nach dem *Zeitbedarf* und der *Verarbeitungskapazität* informationsverarbeitender kognitiver Prozesse.

##### **4.3.8.2 Interaktivität und der Zeitbedarf kognitiver Verarbeitungsprozesse**

Eine Studie von *Kluwe* und *Schulze* (1994) enthält Angaben zu kognitiven Verarbeitungszeiten. Im Mittelpunkt der Betrachtungen steht der Operateur eines interaktiven und bildschirmorientierten Systems, so dass sich das in dieser Arbeit eingeführte KIVS ergibt und eine Übertragung der Untersuchungsergebnisse von *Kluwe* und *Schulze* (1994) gerechtfertigt ist. *Kluwe* und *Schulze* (1994) differenzieren den Zeitbedarf der menschlichen Informationsverarbeitung nach

- den Merkmalen der **kognitiven Aktivität** des Operateurs und
- den allgemeinen Merkmalen von **Kontroll- und Steuerungstätigkeit**.

Letztere sind insbesondere für Aufgaben der Kartennutzung an anderer Stelle noch detaillierter zu behandeln, so dass sie hier nicht diskutiert werden (5.5).

Kluwe (1994) beschreibt die *kognitive Aktivität* durch ein Wahrnehmungsmodell von Card u. a. (1983), das dem Modell der integrativen Wort- und Bildverarbeitung weitgehend entspricht und zusätzlich eine **motorische Komponente** enthält (vgl. Abschnitt 4.3.7.3). Unter dem Aspekt der zeitlichen Verarbeitung sind die wichtigsten Parameter der kognitiven Aktivität

- die **Speicherkapazität**; sie wird in Informationseinheiten (Items oder Chunks) angegeben;
- die **Zerfallszeit** von Informationseinheiten;
- die **Kodierungsart** von Informationseinheiten und
- die **Zykluszeit** (Zeitspanne vom Reiz der Rezeptoren bis zur kognitiven Reaktion).

Nähere Hinweise und Beispiele dazu sind in (Card u. a. 1983) enthalten. Die Zahlenangaben beruhen auf empirischen Untersuchungen zur Wahrnehmung von Buchstaben- und Zeichenmengen. Eine Zusammenstellung der daraus resultierenden Verarbeitungszeiten enthält Tabelle 4-1.

Zeitliche und kapazitive Parameter der Kognition	Langzeitgedächtnis	Kurzzeitgedächtnis	Visuelles System	Auditives System
<b>Zerfallszeit</b>	∞ [sec]	7 (5 - 26) [sec] 1 Chunk: 73 (73 - 226) [sec] 3 Chunks: 7 (5 - 34) [sec]	200 (70 - 1000) [msec]	1500 (900 - 3500) [msec]
<b>Speicherkapazität</b>	∞	Mit Interesse: 7 (5 - 9) [Anz. Chunks] Ohne Interesse: 3 (2.5 - 4.1) [Anz. Chunks]	17 (7 - 17) [Buchstaben]	5 (4.4 - 6.2) [Buchstaben]
<b>Kodierungsart</b>	Semantisch	Akustisch	Ikonisch	Ikonisch
<b>Zykluszeit</b>	100 (25 - 170) [msec]		100 (50 - 200) [msec]	
		100 (70 - 360) [msec]		

Tab. 4-1: Zeitliche und kapazitive Parameter kognitiver Prozesse. Angegeben sind der Wert mit der jeweils größten Häufigkeit und die Spannweite der Untersuchungsergebnisse (in Klammern). Nach: (Kluwe und Schulze 1994, Card u. a. 1983)

Weitere Zeitangaben beziehen sich auf konkrete Beispiele. So finden sich bei *Kluwe* und *Schulze* (1994) ergänzend die folgenden zeitlichen Angaben:

- Die *Gesamtzykluszeit* von der sensorischen Aufnahme eines Reizes bis zur motorischen Reaktion wird angegeben mit 240 (105 – 470) msec.
- Aufgaben, die eine *Beurteilung* erfordern, konkret die Feststellung von Gleichheit bzw. Ungleichheit, benötigen eine Lösungszeit von 310 (130 – 640) msec.
- Der Zugriff auf *Informationsgruppen (Chunks) im Langzeitgedächtnis* benötigt durchschnittlich 380 (155 – 810) msec.
- Der Zeitbedarf der *Informationsklassifizierung* wird angegeben mit 450 (180 – 980) msec.
- Das *freie Erinnern aus dem Langzeitgedächtnis* benötigt 1000 – 1350 msec.

Sind Entscheidungen erforderlich, so steigt die *Entscheidungszeit proportional zur Informationsunsicherheit* an (Card u. a. 1983). Ein Aspekt, der besonders bei entscheidungsunterstützenden Systemen beachtet werden muss, so dass aus kartographischer Sicht für derartige Systeme die Darstellung der *Informationsunsicherheit* zu fordern ist. Dieser Aspekt ist nicht Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit. Es sei daher auf diesbezügliche Untersuchungen zur geometrischen *Modellierung* hingewiesen, die von *Caspary* (1992) und *Molenaar* (1995) durchgeführt wurden. Aus der Sicht der *Visualisierung* behandeln u. a. *Jiang, Brown* u. *Ormeling* (1996), *Ehlschlaeger* und *Shortridge* (1996) sowie *MacEachren, Brewer* u. *Pickle* (1995) die Datenunsicherheit.

Weitere zeitliche Angaben in Tabelle 4-1 beziehen sich auf die *Gedächtniskomponente*. So ist die Halbwertszeit einer *auditiven* Information um Faktor 10 größer als die einer *visuellen* Information. Visuelle Informationen werden schneller verarbeitet, auditive Informationen sind dafür länger im Kurzzeitgedächtnis verfügbar (4.3.7.3). *Sinnhaltiges* Material wird länger erinnert als *sinnloses* Material, und Ablenkung während der Perzeption wirkt negativ auf die Behaltensleistung (Card u. a. 1983).

Typisch für den zeitabhängigen Informationsverlust ist die *Vergessenskurve* nach *Ebbinghaus* (Schermer 1991). Sie zeigt deutlich, dass in den ersten Stunden nach der Informationsaufnahme bereits ein Verlust von bis zu 55% eintreten kann. Nach einem Monat sind noch ca. 25% der Eingangsinformation verfügbar.

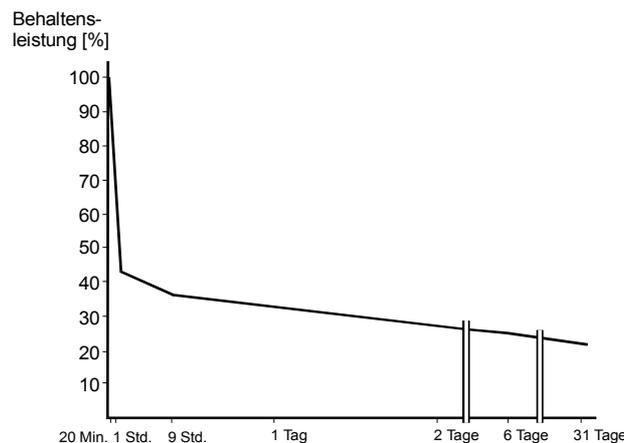


Abb. 4-21: Vergessenskurve nach *Ebbinghaus* (Nach: *Schermer* 1991)

#### 4.3.8.3 Die Bedeutung der zeitlichen Aspekte der Wissensbildung für die Zeichenerkennung und Kartenauswertung

Für die kartographische Bewertung der zuvor diskutierten zeitlichen Aspekte der Wahrnehmung ist die Betrachtung des *Nutzungsprozesses* kartographischer Darstellungen erforderlich. Die Grundlagen dafür wurden von *Hake* (1973) durch die Betrachtungen der Wechselwirkungen von Kartographie und Kommunikation umfassend dargelegt, wobei der Betrachtungsschwerpunkt auf der *visuellen* Kommunikation lag. Die zum damaligen Zeitpunkt formulierte Einschränkung, dass

*... das kartographische Zeichensystem nur raumbezogene Angaben wiedergeben kann und daher nicht das Ausmaß von Anwendungsmöglichkeiten besitzt wie die Sprache...*

hat heute aufgrund multimedialer und audiovisueller Darstellungsmöglichkeiten nur noch bedingt Gültigkeit, da kartographische Darstellungen nicht ausschließlich an Graphik gebunden sind. Dies führt zu einer Kombination von *nicht-sequentiellen* mit *sequentiellen* Formen der kartographischen Informationsdarstellung, letztere sowohl in visueller Form (z. B. Animationen, dynamische Darstellungen) als auch in akustischer Form (z. B. Sprache, Musik). Zugleich gesellt sich als weiterer Unterschied zu herkömmlichen Karten die notwendige *Mensch-Maschine-Interaktion* hinzu (5.5.3). Sie ist begründet im kybernetischen Ansatz des KIVS. Darüber hinaus ist sie notwendig, um technische Unzulänglichkeiten zu kompensieren, die z. B. in der begrenzten Bildschirmfläche und ihrer vergleichsweise schlechte Auflösung liegen. Zusätzlich erfordern die größere Informationsvielfalt und -tiefe die Systemnavigation aufgrund des nicht-simultan darstellbaren Informationsdargebotes. Interaktion ist daher notwendig und muss bereits im kartographischen Gestaltungsprozess berücksichtigt werden (siehe Kapitel 5).

Unter diesen Voraussetzungen wird der zeitliche Umfang des Kartennutzungsprozesses beeinflusst durch die zeitlichen Komponenten der visuellen und akustischen Informationsdarstellung und -verarbeitung sowie der motorischen Aktionen und Reaktionen. Typisch dafür ist der Vorgang des Kartenlesens und der Karteninterpretation.

Er ist gekennzeichnet durch einen stetigen Wechsel aus visueller Suche, Informationsaufnahme und -verarbeitung sowie motorischer Aktion verbunden mit Informationsabruf und -zusammenstellung. Die von *Hake* (1973) geschilderte individuelle Organisation des Auswertevorgangs ist auch in modernen Umgebungen gegeben. Im Unterschied zur traditionellen Karte ist jedoch *zusätzlicher Zeitbedarf* erkennbar, da

- Informationen auch *sequentiell* vermittelt werden, z. B. in Form von Video- und Sprachsequenzen,
- *motorische Aktionen* (Systemnavigation und Informationsabruf) notwendig sind, und
- höhere Anforderungen an die kognitive Verarbeitung bestehen, da im weiteren Sinne eine Folge temporärer (kurzzeitiger) Kartendarstellungen *gedanklich verarbeitet* werden muss.

Vor diesem Hintergrund muss davon ausgegangen werden, dass die Nutzung moderner kartographischer Darstellungsformen im Vergleich mit traditionellen Karten *einen höheren Zeitaufwand erfordert*. Die Vorteile liegen hier insbesondere in der Informationsbetonung und Steigerung der Informationsnachhaltigkeit durch multimodale Informationsvermittlung in Kombination mit Interaktivität.

*Zeitvorteile* ergeben sich jedoch offensichtlich durch die *Funktionalität* eines digitalen kartographischen Systems, z. B. durch die Anwendung von Methoden der *digitalen Kartometrie* (Strecken-, Entfernungs-, Flächenberechnung u. a. m.) (Buziek 1994).

#### 4.4 Zusammenfassende Betrachtungen, Bewertungen und Folgerungen zu den Kapiteln 3 und 4

In den Abschnitten der Kapitel 3 und 4 wurde die menschliche Komponente des kartographischen Informationsverarbeitungssystems anhand unterschiedlicher Modellvorstellungen näher beschrieben. Sie ist ein aktives informationsverarbeitendes Teilsystem des KIVS. Ihr Zweck ist, die *Neubildung, Erweiterung, Bestätigung* oder *Korrektur von Geowissen* im Wechselspiel mit *individuellem Handeln* zu bewirken. Diesbezügliche Kriterien sind in der Tabelle 4-2 zusammengefasst.

Die theoretischen Grundlagen dieses Systems sind vielfältig und in unterschiedlichen Modellansätzen beschrieben. Es hat sich gezeigt, dass insbesondere aus den Mechanismen der *reizgesteuerten Wahrnehmung* Gestaltungsprinzipien für eine effiziente kognitive Verarbeitung von Zeit und Raum gewonnen werden können. Demgegenüber steht die *bewusstseinsgesteuerte Wahrnehmung* mit hoher individueller Prägung. Ihr Merkmal ist die *individuelle* und *selektive Objektwahl* in Verbindung mit der mentalen Ausblendung irrelevanter Informationen. Mit statischen Karten wird dieses Verhalten nur *bedingt* unterstützt, so dass Bedarf an *flexiblen Darstellungsformen* und *Interaktivität* besteht.

Auch aus lerntheoretischer Sicht vermögen neue kartographische Darstellungsformen in KIS in dieser Hinsicht mehr zu bieten als statische und analoge Karten. Neue Medien und Modalitäten der Informationsdarstellung stehen zur Verfügung, und zwar nicht ausschließlich für die Übermittlung der eigentlichen Kerninformation, der Geoinformation. Ihr Aufgabenfeld ist weiter gefasst, da es nicht nur gilt, den Nutzer zu informieren, sondern auch zu *interessieren*, zu *motivieren* und ihm eine *angenehme Arbeitsumgebung* zur Verfügung zu stellen. Positiv beeinflusst wird davon insbesondere die Wissensbildung, die aufgrund multimodaler und komplexer Strukturen höhere Nachhaltigkeit aufweist und schnelleren Wissenszugriff gestattet.

Die kartographische Gestaltung der Zukunft wird daher nicht nur von zweckdienlichen Grundsätzen geprägt sein. **Aus ganzheitlicher Sicht ist zu erwarten, dass durch die kartographische Nutzung von neuer Technologie und neuen Formen der Informationsdarstellung die mentale Bildung und Nutzung von Tertiärmodellen der Umwelt verbessert werden kann.**

Kategorien des Wissenserwerbs	Merkmale	Kartographische Beispiele
Wissen	Invarianzenbildung	Erkennen und Einprägen räumlicher Strukturen mit Hilfe von Karten, z. B. Teile des Straßennetzes, die Lage von Ortschaften, Orientierungshilfen
Wissensorganisation	Sensorisch	Ungezielte visuelle Suche nach unbestimmten Inhalten in einer kartographischen Ausdrucksform
	Kurzzeitig	Vergegenwärtigen und Aktivieren von Informationsgruppen zwecks Bewertung, z. B. Entscheidung über die Wahl einer Wegstrecke oder einer Planungsmaßnahme, bewusstes Erkennen räumlicher Zusammenhänge
	Langzeitig	Unterstützung von Erkennung und Wiedererkennung von Signaturen, Reproduktion von Erlerntem, z. B. Bedienung eines Auskunftssystems, Benutzung einer Karte
Wissenserwerb	Integrative Informationsverarbeitung	Kognitive Verarbeitung perzipierter Signale in ihrem Zusammenhang, z. B. interaktive Denkmalsignatur in einem interaktiven kartographischen System wird ergänzt durch eine Sprachinformation über das Denkmal, bewirkt Assoziationsbildung
	Aufmerksamkeit	Fokussierung auf eine von mehreren Informationsquellen, hervorgerufen durch Interesse oder besondere Reizmerkmale; z. B. Vergrößerung bestimmter Kartenausschnitte, Mausklick auf eine besonders auffällige Signatur
	Selektion	Wahrnehmung ist selektiv, da mehr Signale a. d. Menschen einwirken als er verarbeiten kann, daher gestalterische Auswahl von Informationen, die für die Lösung von Aufgaben dienlich sind (Zweckbestimmung einer Karte)
	Informationsgruppierung	Erkennung von gemeinsamen Objektmerkmalen und Bewertung; z. B. Erkennung von Wohngebäuden und Klassifikation der Bauungsdichte mittels Karten
	Erkennen von Gleichartigkeiten	Prinzip der Informationsgruppierung, subjektiv und individuell, hängt ab von der Bedeutung für das Individuum und die zu lösende Aufgabe; z. B. Straßen einer Kategorie, Bedienabläufe der technischen Interaktion
	Generalisierung von Reizen	Kartographische Objekte einer Objektklasse werden zusammengefasst, da sie im Kartenmaßstab nicht visuell auflösbar dargestellt werden können
	Diskriminierung von Reizen	Analyse von Objektunterschieden; z. B. Objektdifferenzierung nach Farbe, Form, Füllung, Orientierung usw.
	Versuch und Irrtum	Lernmethode zur Erweiterung des episodischen Wissens; wird angewendet, wenn Regeln und Prinzipien fehlen. Findet Unterstützung durch interaktive Kartendarstellungen und wird vermieden durch strukturierte und hierarchische Informationsaufbereitung
	Bewertung und Konsequenz	konstruktives Lernen, Schlussfolgern, Anreicherung des diskursiven Wissens; z. B. kognitives Arbeiten mit dem Tertiärmodell eines Umweltausschnittes
	Motivation	Ursache des Wissenserwerbs, individuell aus Interesse oder als Notwendigkeit; z. B. Nutzung einer GIS-Anwendung für Planungszwecke
Wiederholung	Transformation von kurzzeitigem Wissen in langzeitiges Wissen; z. B. wiederholter Abruf von Informationen eines Auskunftssystems	

Tab. 4-2: Kategorien, Merkmale und Beispiele für den kartographischen Wissenserwerb



## 5 Grundlagen der Gestaltung neuartiger Sekundärmodelle der Umwelt

### 5.1 Allgemeines

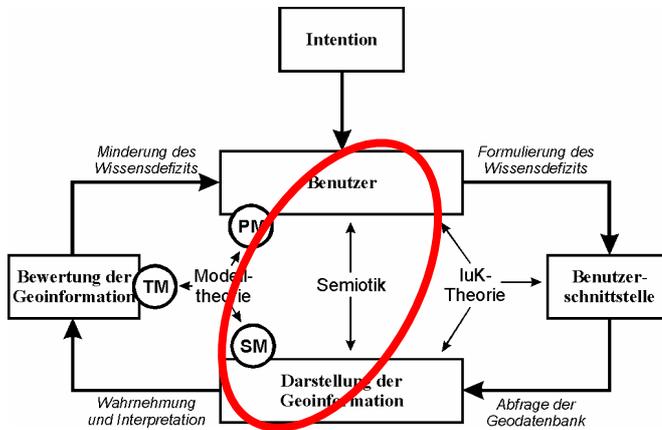


Abb. 5-1: Die Semiotik als systemtheoretische Wechselbeziehung zwischen Benutzer und dem Sekundärmodell der Umwelt

Bisher wurde die Bildung kartographischer Tertiärmodelle der Umwelt als Ergebnis der *perzeptiven* und *kognitiven* Informationsverarbeitung besprochen. Dabei hat sich gezeigt, dass die Verwendung unterschiedlicher Darstellungsmodalitäten und individuelle motorische Handlungen die Nachhaltigkeit von Geowissen fördern. Offen geblieben ist dabei die Beantwortung der Frage mit welchen neuen Möglichkeiten

der Informations- und Kommunikationstechnologie den Prinzipien der menschlichen Wahrnehmung optimal entsprechen werden kann. Dies führt jetzt zur näheren Betrachtung des bereits in Kapitel 2 eingeführten *Kartographischen Informationssysteme* (KIS) und seinen *kartographischen Ausdrucksformen*. Dieses Modul ist aufgrund der technologischen Entwicklung stets im Wandel begriffen. Technische Besonderheiten, z. B. von Software, werden daher nicht behandelt. Wichtiger ist hingegen im Sinne des *Kartographischen Informationsverarbeitungssysteme* (KIVS) aufzuzeigen, welche Wechselbeziehungen zwischen den Systemmodulen des KIVS bestehen und wie sie semiotisch berücksichtigt werden können. Dieses Kapitel umfasst daher

- eine kartographisch orientierte Bewertung der neuen Entwicklungen der Informations- und Kommunikationstechnologie,
- die Erweiterung des bislang ausschließlich an Graphik gebundenen kartographischen Zeichensystems um Variablen für die akustische und temporale Gestaltung und
- die Betrachtung von Interaktion und Interaktivität.

## 5.2 Einflüsse der Kommunikations- und Informationstechnologie auf kartographische Ausdrucksformen und ihre Nutzung

### 5.2.1 Allgemeines

Für die Kommunikation und die Übermittlung von Informationen stehen neben den traditionellen analogen Medien heute digital-elektronische Medien zur Verfügung. Von Bedeutung für die Kartographie sind einerseits Datenträger, die einen schnellen Lesezugriff auf

die auf ihnen gespeicherten Daten zulassen und ihre nicht an Datennetze gebundene Verbreitung gewährleisten (z.B. CD-ROM und DVD). Andererseits sind Kommunikationsnetze ein bedeutendes Medium, da sie neben der weltweiten Geodatendistribution zudem die audiovisuelle Kommunikation und Interaktion und den Zugriff auf global verteilte Geodatenbestände ermöglichen (vgl. Cartwright 1994, Peterson 1997, Cartwright 1999). Zum Zwecke der Kommunikation oder des Datenaustausches werden Informationen in Form analoger und digitaler Daten übertragen. Da *Daten* in der Informatik als *Informationen* bezeichnet werden, wurde der Begriff *Informationstechnologie* geprägt. Sie umfasst Methoden und Verfahren, die zur Lösung von Aufgaben für Zwecke der Aufbereitung und Verarbeitung von Daten eingesetzt werden (Löbel u.a. 1969).

Unter dem Begriff *Kommunikationstechnologie* werden alle Methoden und Verfahren zusammengefasst, die zur *Unterstützung von Kommunikationsprozessen* geeignet sind. Das sind in erster Linie die *Medien*, wie z. B. *Rundfunk* und *Fernsehen*, die eine diagnostische Kommunikation (Ein-Weg-Kommunikation) ermöglichen. Sie werden ergänzt von vielfältigen *Netzdiensten*, meistens auf Basis der Internet-Technologie, so dass sich eine weltweite *dialogisierte* Tele- und Datenkommunikation ergibt. Da die Kommunikationstechnologie Verfahren und Methoden der Digital- und Computertechnik für die Kodierung und Übermittlung von Nachrichten umfasst, wird sie von neuen Entwicklungen der Informationstechnologie stark beeinflusst. Der Begriff Informations- und Kommunikationstechnologie (IuK-Technologie) verdeutlicht diesen Sachverhalt.

Als Beispiel aus der Geoinformatik mögen dafür die so genannten *Internet Map Server* (IMS) dienen, die nach dem *Client-Server-Prinzip* GIS- und Internet-Technologie mittels eines *Web-Servers* verknüpfen (Leukert u. a. 2000).

### **5.2.2 Das kartographische Potential ausgewählter Informations- und Kommunikationstechnologien**

Technologien erweisen sich als kartographisch nutzbar, wenn sie sich zur Lösung kartographischer Aufgaben und zur Erfüllung kartographischer Funktionen eignen (vgl. Papay 1973, Freitag 1993). Der Grad der Nutzbarkeit stellt das *kartographische Potential* dar. Im Folgenden sind Teilgebiete der IuK-Technologie für eine kartographische Bewertung ausgewählt worden. Sie sind zunächst in *Primär-* und *Sekundärtechnologien* differenziert worden.

Die **Primärtechnologien** umfassen gegeneinander abgrenzbare Bereiche, die jeweils typische *grundlegende* Aufgabenstellungen behandeln. Dazu gehören im Wesentlichen:

- die *2D-Computergraphik* für die interaktive Gestaltung kartographischer Darstellungsformen und
- die *3D-Computergraphik* für die Berechnung zweidimensionaler, auch interaktiver Abbildungen eines umweltbezogenen dreidimensionalen geometrischen Modellraums und
- *Programmier- und Scriptsprachen*, die für Zwecke der Geo-Datenmodellierung, Graphikerzeugung und Interaktion genutzt werden können.

Hinzu kommt

- die *Datenbanktechnik* für die Archivierung, Speicherung, Fortführung und Abfrage von Geo-Daten.

Diese Primärtechnologie bildet die technologische Infrastruktur eines kartographischen Informationssystems. Sie ist wichtig für das Geodatenmanagement und die Systemanpassung. Auf die multimediale Informationsdarstellung hat sie kaum Einfluss und wird hier daher nicht weiter diskutiert.

**Sekundärtechnologien** entstehen, wenn Primärtechnologien gezielt für bestimmte Anwendungen eingesetzt und miteinander kombiniert werden um möglichst effizient zur Lösung spezieller Aufgaben beizutragen. Relevant für die Kartographie sind:

- die *Computeranimation*; sie beruht auf der 2D- bzw. 3D-Computergraphik,
- *Geo-Informationssysteme*, die aus technologischer Sicht aus der Kombination von Daten, Datenbanktechnologie, Methoden und programmgesteuerter interaktiver 2D- und neuerdings auch 3D-Computergraphik entstehen,
- *Multimedia* und *Hypermedia*; beides eigenständige Technologien, die jedoch auf Primärtechnologien, z. B. 2D/3D-Computergraphik, angewiesen sind,
- *Kommunikationsnetze* und *Netzdienste*, die lokale und globale Kommunikation mittels Datenübertragung erlauben. Sie benötigen für die audiovisuelle Informationsdarstellung Primärtechnologien bzw. die hier aufgeführten Sekundärtechnologien.
- *Virtual Reality*, ein Bereich der auf Hochgeschwindigkeitsrechentechnik und der Echtzeitanwendung von Primär- und Sekundärtechnologien basiert und der aufgrund seiner besonderen Art der Benutzereinbindung als Sekundärtechnologie definiert wird.

*Heidmann* (1999) konkretisiert einige der zuvor aufgeführten Punkte und fügt *computerunterstütztes kooperatives Arbeiten* und *Workflow-Management-Systeme* als Beispiele für die Anwendung von Kommunikationsnetzen hinzu. Hiervon dürfte zukünftig das umweltbezogene Planungs- und Krisenmanagement profitieren. Im Bereich der Primärtechnologien verweist *Heidmann* (1999) auf die Methoden der *Künstlichen Intelligenz* und der *wissensbasierten Systeme*, die mit zunehmender Problem- und Systemkomplexität auch für die kartographische Visualisierung Bedeutung erlangen. Darüber hinaus werden *mobile Rechner* (ubiquitäre Computer) als technische Plattformen besonders herausgestellt, da mit ihrer Hilfe ein KIS in der Örtlichkeit betrieben werden kann. Letzteres wird eine erweiterte Umweltwahrnehmung ermöglichen, da beispielsweise nach dem Superimpositionsprinzip vor Ort virtuelle Informationen der wahrgenommenen Umwelt überlagert werden können und per Mobilfunk auf ortsrelevante Geoinformationen zugegriffen werden kann (vgl. 5.3).

### 5.2.2.1 2D-Computergraphik

In den 80er Jahren begann der Einzug graphisch-interaktiver Programmsysteme in die kartographischen Arbeitsbereiche „Kartenentwurf“ und „Kartengestaltung“. Dies führte u. a. zur Prägung der Begriffe *Computerkartographie* und *Desktop-Mapping* (vgl. Olbrich u. a. 1990). Interaktive Programmsysteme sind seitdem zu einem unverzichtbaren Hilfsmittel für die Kartengestaltung geworden. Sie ersetzen die materiellen Werkzeuge und

Hilfsmittel (z.B. Stifte, Masken, Reibebuchstaben usw.) durch digital-elektronische Funktionen für die Erzeugung und Bearbeitung von Geometrie und Graphik.

Im Entwicklungstrend liegt derzeit die Erweiterung dieser Softwareprodukte um einfache Kommandosprachen für die Programmierung von Funktionsabläufen, Funktionen für die Erzeugung dreidimensionaler Computergraphik und Computeranimationen. Ergänzt werden die interaktiven graphischen Programmsysteme durch Autorensoftware. Damit können z. B. Dokumente für den Netzdienst WWW oder für Multimedia-Präsentationen unter einer graphischen Benutzungsoberfläche in der gewohnten Softwarearbeitsumgebung erzeugt werden.

Die kartographischen Darstellungsmöglichkeiten werden dadurch erheblich ausgeweitet, so dass neue Anforderungen an das technische und gestalterische Können gestellt werden.

### 5.2.2.2 3D-Computergraphik

Grundlage für die Anwendung dieser Technologie ist die dreidimensionale geometrische und graphische Beschreibung von Flächen und Körpern in einem kartesischen Modellkoordinatensystem. Komplexe Körper mit komplizierten Formen können z. B. mit der CSG-Methode (Constructive Solid-Geometry) durch die räumliche Vereinigung oder Differenzbildung einfacher Volumenobjekte modelliert werden (Hearn u. Baker 1996).

Die Modellobjekte können ganz oder teilweise mit Farben, berechneten Texturen oder Rasterbildern versehen werden. Im Sinne der kartographischen Zielsetzung ist es Aufgabe des Kartographen, zu entscheiden, ob eine symbolhaft-abstrakte oder eine realistische Objektdarstellung zu einer besseren kartographischen Aufgaben- und Funktionserfüllung führt.

Weiteren kartographischen Nutzen bieten *Beleuchtungsmodelle* (z. B. Flat-, Gouraud- oder Phong-Shading, vgl. Hearn u. Baker 1996). Diese beschreiben die Reflexionseigenschaften von Oberflächen. Mit Raytracing- oder Radiosity-Verfahren wird die Ausbreitung des Lichtes im Modellraum berechnet. Ergebnis ist die Abbildung des Modellraums in eine Bildebene in Form eines Rasterbildes.

Kartographische Anwendungsergebnisse dieser Technologie können z. B. analytische *Schummerungen* der Oberfläche eines digitalen Geländemodells (DGM), perspektivische *Landschaftsbilder* oder andere, *immaterielle Oberflächen* sein (vgl. Buziek 1995, Rase 1998). Die praktische Anwendung besteht z. B. in der analytischen Berechnung von Geländeansichten, die zur Unterstützung der Orientierung im Gelände vorteilhaft eingesetzt werden können (Teufert u. Harbor 1998).

Das DGM kann auch mit einem oder mehreren Farbtönen versehen werden, die unterschiedliche topographische Sachverhalte beschreiben, z. B. die Geländeneigung oder die Exposition. Aufgrund der Beleuchtung werden diese Farbtöne in Helligkeit und Sättigung variiert, so dass zusätzlich zu dieser thematischen Information die Geländeformen durch die Simulation von Licht und Schatten mit schattenplastischen Effekten ausgedrückt werden. Dies entspricht der menschlichen Wahrnehmungserfahrung, so dass diese Darstellung sehr effektiv die *Informationsübertragungs-* und *-gewinnungsfunktion* kartographischer Ausdruckformen erfüllt (vgl. 6.3, Papay 1973, Freitag 1993).

Neuere Entwicklungen ermöglichen die Zuordnung von Farbtonwerten zu Oberflächenpositionen des DGM auf der Grundlage eines Rasterbildes. Diese Tonwerte werden ebenfalls wie zuvor beschrieben behandelt. Als Rasterbild kann z. B. ein entzerrtes (georeferenziertes) Satellitenbild, ein Orthophoto, eine gescannte Karte oder eine berechnete Kartengraphik dienen. Das Ergebnis ist eine plastisch wirkende perspektivische kartographische Darstellung auf der Grundlage der Simulation des menschlichen Sehens (pseudo 3D-Darstellung, 5.3).

Die enthaltenen Geländeformen wirken realistisch und können dadurch schnell und sicher wahrgenommen und interpretiert werden. Dadurch ist die *schnelle* und *eindeutige* visuelle Übermittlung raumbezogener Informationen an Personen möglich, die im Kartenlesen ungeübt sind. Die Ergänzung derartiger Darstellungen mit anderen dreidimensionalen modellhaften Raumkörpern, z. B. Gebäuden, führt zur digitalen Generierung von Landschaftsbildern, Stadt-, Standort- und Panoramaansichten, die für planerische Zwecke benötigt werden (Kriz u. Häfele 1996, Lange 1996, Zanini 1996).

Die Beschreibung der Modellszene wird mittels einer Szenenbeschreibungssprache (Script-Sprache) vorgenommen, deren Verarbeitungsablauf durch zusätzliche Steuerbefehle beeinflusst werden kann. Dies ermöglicht die Berechnung von Bildfolgen (Sequenzen) und damit die Erzeugung von *Computeranimationen* (z. B. Zedi 2000, Dransch u. Rase 2000, Buziek u. a. 2000).

Die Kartographie ist herausgefordert, die mit dieser Technologie verbundenen Möglichkeiten der graphischen Darstellung auch in Zusammenarbeit mit anderen Fachdisziplinen, z. B. der Architektur, der Landschafts- und Stadtplanung oder der Verkehrsentwicklungsplanung zu nutzen (siehe Emmerich 1999, Hampe 1999, Schröder 2000, Loibl u. Mayer 2000, Meissner 2000). Leistungsfähige, nahezu plattformunabhängige Software ist bereits preisgünstig verfügbar und ermöglicht die eingeschränkte Anwendung dieser Technik auch in kleinen Dienstleistungsbüros (vgl. Hampe 1999).

Die Übernahme von Daten aus Geo-Datenbanken und Geo-Informationssystemen erfolgt derzeit mit externen Konvertierungsprogrammen. Diese könnten durchaus auch Bestand einer GIS-Software sein. Zuvor wäre jedoch die Standardisierung der Scriptsprachen für die Erzeugung von 3D-Computergraphik anzustreben. Ein Standard für Internet-Anwendungen ist mit der Virtual Reality Modelling Language (VRML) bereits entwickelt worden. Er befindet sich derzeit in der Erweiterung für geographische Anwendung unter der Bezeichnung GeoVRML (Reddy u. a. 1999). Geographisch/kartographische Anwendungen existieren bereits und befinden sich in einem operationellen Stadium (Moore 1999, Moore u. a. 1997, Hatger 1997, Zedi 2000).

Erste Untersuchungen zur Kopplung von Geo-Datenbanken und perspektivischen Bildschirmdarstellungen zwecks interaktiven Datenbankzugriffs deuten die weitere Entwicklung an (z. B. Rhyne 1996).

### 5.2.2.3 Computeranimation

Softwareprodukte der 3D-Computergraphik besitzen Funktionen für die Generierung von Bildsequenzen. Im einfachsten Fall wird das Programm wiederholt aufgerufen mit veränderten szenenbeschreibenden Parametern für die Bildgenerierung. Dies können z. B. veränderte Positionen von Kamera oder Lichtquellen sowie die anderer Objekte sein. Geschieht dies für eine Bildfolge von Szene (Bild) zu Szene, so entsteht bei hinreichend schneller Wiedergabe (mind. 25 Bilder/sec) bei dem Betrachter der Eindruck stetiger Bewegung oder Veränderung (z. B. Dransch 1997a, Buziek u. a. 2000).

Dies eröffnet dem Kartographen die Möglichkeit, raum-zeitliche Prozesse nicht nur statisch und mit Hilfe von Signaturen und Symbolen, sondern auch bewegt als raumzeitliches Bewegungsverhalten räumlicher Objekte darzustellen. Da sich der Eindruck von stetiger Bewegung bzw. Veränderung aufgrund einer fest vorgegebenen und vom Benutzer nicht veränderbaren Folge einzelner Szenen ergibt, soll im Folgenden eine derartige kartographische Darstellungsform als *kinematographisch* bezeichnet werden (5.3). Kartographische Animationen, die aus mehreren Sequenzen bestehen, stellen einen *kartographischen Film* dar (Hake u. Grünreich 1994, 6.2).

Das kartographische Wissen hinsichtlich der graphischen Gestaltung von modernen Karten in Kombination mit Kenntnissen über die menschlichen visuellen Wahrnehmungsprozesse kann unter Zuhilfenahme der Technik der 3D-Visualisierung und der Animation zu einer *Verbesserung* der Darstellung raumzeitlicher Bewegungs- und Veränderungsprozesse führen (Koussoulakou 1990).

### 5.2.2.4 GIS-Technologie

Geo-Informationssysteme sind in einem umfassenden Sinne als Spezialform *allgemeiner Informationssysteme* zu betrachten, da Daten mit Geo-Bezug verarbeitet werden (Hake u. Grünreich 1994). Die kartographische Stärke der GIS-Technologie ist in der Kombination von *Datenbanktechnik*, *2D-Computergraphik*, *Kommandosprachen* und neuerdings auch *3D-Computergraphik* und *Internettechnologie* zu sehen. Dies ermöglicht u. a. die Bereitstellung einer benutzerorientierten Analyse- und Synthesefunktionalität und die individuelle Erweiterbarkeit.

Im Hinblick auf die Darstellung von Geo-Information beschränken sich die Systeme primär auf *2D-Computergraphik*. Die *3D-Computergraphik* hat gegenwärtig nur unterstützende Funktion, z. B. durch die Ergänzung von kartographischen Darstellungen mit landschaftlichen Perspektivansichten. Audio- und Videofunktionen sind über Schnittstellen zum Betriebssystem mit Hilfe externer Programme realisierbar, so dass *einfache* multimediale Anwendungen möglich sind.

Neben den in dieser Arbeit aufgezeigten theoretischen Grundlagen ergibt sich hier weiterer Bedarf an *angewandter Forschung*, z. B. im Bereich der *Gestaltung von Benutzungsoberflächen* und der *3D- und 4D-Modellierung* sowie zur internetbasierten *Visualisierung* und *Nutzung* von Geo-Daten (Grünreich 1998, Bill 1998).

### 5.2.2.5 Multimedia-Technik

Die Voraussetzungen für die Entwicklung rechnergestützter multimedialer Technologien wurden durch die Entwicklung neuer graphischer Betriebssystemoberflächen und Hardwareerweiterungen im Audio/Video-Bereich geschaffen. Heute gehören Funktionen wie Tonaufnahme und -wiedergabe, die Verarbeitung von Videosequenzen und die graphisch-akustische Interaktion zur Standardausrüstung von PCs und Workstations. Das ist die Grundlage für neue kartographische Betätigungsfelder, die vor allem *neue Gestaltungsmöglichkeiten* für die Vermittlung kartographischer Informationen bieten.

Die Herstellung von Karten mit Multimedia-Elementen wird unterstützt durch so genannte *Autorensysteme* (Cartwright 1995, Muller u. Grebe 2000). Das sind Softwareprodukte, die vor allem die Gestaltung eines Multimedia-Dokumentes unterstützen (vgl. Siemoneit 1995, Borchert 1996, Muller u. Grebe 2000). Das *Multimedia-Dokument* enthält verschiedene *Multimedia-Elemente*, die eigenständig auftreten oder miteinander verknüpft (sog. Hyperlinks) sein können. Zur Erzeugung dieser Elemente muss auf andere Technologien zurückgegriffen werden. Es handelt sich daher in technologischer Hinsicht um einen sehr komplexen Arbeitsbereich, der häufig von einem Autorenteam ausgefüllt werden muss.

Im Gegensatz zur kinematographischen Darstellungsform kann die Reihenfolge sowie Ort und Zeitpunkt des Erscheinens von Multimedia-Elementen auf dem Bildschirm vom Anwender per *Interaktion* gesteuert und beeinflusst werden, so dass das Resultat eine *dynamische* (interaktive) *Karte* (Darstellungsform) ist.

Dass dieser Technologie große Zukunftschancen eingeräumt werden müssen, zeigt die seit wenigen Jahren ständig steigende Verfügbarkeit multimedialer Karten und Kartenwerke auf CD-ROM zu günstigen Preisen. Als Beispiele für ausschließlich kartographische Anwendungen seien hier *Niedersachsens Digitale Karte* (NDK), die *Digitale Stadtkarte (DISK) der Hansestadt Hamburg* (Matthias 1996) sowie div. *digitale Atlanten* (Sieber u. Bär 1996, Durwen 1996, Hurni u. a. 1999, Kelnhofer u. a. 1999) genannt.

### 5.2.2.6 Kommunikationsnetze und Netzdienste

Die Verknüpfung nationaler Telekommunikationsnetze zu einem globalen Kommunikationsnetz hat den Erfolg des Internets ermöglicht. Die Nachrichtenübermittlung innerhalb des Netzes erfolgt nach festgelegten Regeln, die in Übertragungsprotokollen festgehalten werden. Der Kommunikation im Internet liegt die TCP/IP-Protokollfamilie (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) mit über hundert unterschiedlichen Protokollen zugrunde (RRZN 1995).

Für die Datenübertragung sind Standards geschaffen worden, so dass die Erreichbarkeit jedes Netzteilnehmers sichergestellt ist. Hohe Bandbreiten (zwischen bestimmten Netzknoten derzeit bis zu 800 Mbit/sec (Mbps) im deutschen Wissenschaftsnetz WiN) ermöglichen die Übertragung großer Datenmengen in kurzen Zeitintervallen. In einer modernen vernetzten Umgebung sind am Endgerät bis zu 100 Mbps möglich (RRZN 1999).

Dies ist von Vorteil für kartographische Spezialanwendungen, die z. B. äußerst aktuelle Geo-Daten als Grundlage benötigen. Dazu gehört der Abruf von Geo-Daten aus global

verteilten Datenbanken zum Zwecke der Herstellung von Karten für die Wettervorhersage oder das Umweltmonitoring.

Um den Benutzern des Netzes die Kommunikation zu vereinfachen, sind kommunikationsunterstützende Netzdienste entwickelt worden (E-Mail, File-Transfer-Protokoll (FTP), Telnet, World-Wide-Web (WWW) usw.) (vgl. Gartner 1996). Der komfortabelste Netzdienst wird durch das *Hyper Text Transfer Protokoll* (HTTP) ermöglicht und ist unter dem Namen *World-Wide-Web* bekannt geworden. WWW besteht aus drei Komponenten, dem Übertragungsprotokoll HTTP, der Hyper Text Markup Language (HTML) und einem Client-Programm, dem Browser. Letzterer fasst unter einer gemeinsamen Oberfläche alle Netzdienstleistungen zusammen. Mit WWW können audiovisuelle Nachrichten übertragen und mittels des Browsers sichtbar oder hörbar gemacht werden. Der Browser besitzt *Multimedia-Funktionalität*. Da eine Verknüpfung global verteilter multimedialer Elemente möglich ist, wird WWW auch als *Hypermedium* bezeichnet.

Die kartographische Nutzung des WWW deckt einen weiten Bereich ab. Er erstreckt sich von der Bereitstellung statischer und hypermedialer Karten im Rasterdatenformat (Peterson 1995a/b, 1997, Gartner 1996) bis zum interaktiven Zugriff und der Visualisierung von GIS-Datenbeständen (Schlimm 1998). Derzeit sind dafür als Standardanwendungen *Internet Map Server (IMS)* eingeführt worden (vgl. Leukert u. a. 2000).

Kommunikationsnetze und Netzdienste werden ständig erweitert und neuen Erfordernissen angepasst. Dazu gehört z. B. die verbesserte Anbindung von *mobilen Nutzern* an das Internet. Der *mobile Zugriff* auf das Internet kann gegenwärtig bereits mit dem *Wireless Application Protocol (WAP)* erfolgen (WAPForum 1999). Es verknüpft internetbasierte Kommunikationsdienste mit den in Funknetzdiensten gebräuchlichen Standards und ist zudem verträglich mit allen derzeit gebräuchlichen Betriebssystemen (WAPForum 1999). Neue Mobilfunkstandards, wie GPRS und UMTS lassen bereits in naher Zukunft Übertragungsraten bis zu 200 Mbps und packetbasierte Abrechnungsverfahren zu, so dass auch für Endverbraucher permanente Onlineverbindungen bezahlbar sind. Damit eröffnen sich neue Möglichkeiten für die Erfassung von Geo-Daten im Felde aber auch für die örtliche Nutzung von digitalen multimedialen Geo-Informationen, z. B. mit ubiquitären Rechnern, Handys oder Personal Data Assistants (PDA) (vgl. 5.2.2). Diesbezügliche Anwendungen werden als *Location Based Services* bezeichnet.

#### 5.2.2.7 Programmier- und Scriptsprachen

Die Kommunikationsfunktionalität des WWW kann durch Programmier- und Scriptsprachen wie z. B. *Java* oder *JavaScript* erweitert werden. Ihre Verwendung gestattet z. B. die Durchführung von Bildverarbeitungs- (z. B. Filterung) oder Darstellungsoperationen (z. B. Vergrößern, Verkleinern, Verschieben) unter der Browseroberfläche (Kühnel 1996). *Java-Programme* (sog. Applets) werden als Byte-Code auf den Client übertragen und dort zur Ausführung gebracht. *JavaScript* wird in HTML eingebettet, mit der Interpretation des HTML-Dokumentes verarbeitet und ausgeführt. Diese Zusatzprogramme lassen auch die Verarbeitung von alphanumerischen Nutzerdaten zu, so dass das HTML-Dokument anwenderspezifisch dargestellt werden kann (vgl. Mintert 1996).

Die Verbreitung von Softwarekomponenten über das Internet führt zu neuartigen Dienstleistungen, z. B. dem *Applikation Service Providing*. Nach diesem Ansatz wird vom Erwerb teurer Softwarelizenzen abgewichen und auf die Vermietung von Softwarekomponenten übergegangen. Als kartographisch-topographische Dienstleistung könnte z. B. die Berechnung eines DGM inkl. Höhenliniengenerierung aus Nutzerdaten angeboten werden. Gegen eine Nutzungsgebühr erhielte der Anwender ein Java-Applet, das auf dem Client die erforderlichen Berechnungen durchführt und die gewünschten Ergebnisse liefert.

Eine ähnliche Vorgehensweise ist auch für andere kartographische Daten denkbar. Ist z. B. die Übertragung kartographischer Rasterdaten aus Kapazitätsgründen nicht möglich, so könnten Vektordaten nebst Java-Applet übertragen werden. Das Java-Applet würde in diesem Falle auf dem Client-Rechner die Symbolisierung der Vektordaten durchführen und als Ergebnis kartographische Rasterdaten liefern. Diese können vom Anwender dann z. B. für die weitere kartographische Bearbeitung genutzt werden.

*Interaktion* und *2D-Computergraphik* im Internet werden durch Entwicklungen aus dem 3D-Computergraphikbereich ergänzt. Die Scriptsprache VRML (Virtual Reality Modelling Language) gestattet die Modellierung von räumlichen Szenen, die vom Anwender mit Hilfe von Zusatzsoftware (sog. Plug-In) interaktiv erkundet werden kann (Bell u. a. 1994). Beispiele für geographisch/kartographische Anwendungen geben *Fairbairn* und *Parsley* (1996) sowie *Wood, Dykes* und *Moore* (1999). Eigene Untersuchungen haben am Beispiel von VRML gezeigt, dass gegenwärtig noch erheblicher Entwicklungsaufwand notwendig ist, damit neben perspektiven Darstellungs- und Navigationsmöglichkeiten auch kartographische Anforderungen mit hoher Qualität und Performanz erfüllt werden können (Hatger 1997). Es mangelt besonders an der Verarbeitung großer Datenmengen und an der Verfügbarkeit kartographischer Gestaltungsmethoden.

Eine kartographische Beurteilung wird von *Swanson* (1999) vorgenommen. *Swanson* ließ eine Gruppe von Personen mit einer thematischen perspektivischen Karte unter VRML arbeiten und bat sie um eine Einschätzung. Die Gruppe beurteilte die *Navigationsfunktionalität* als nicht intuitiv, da eine Computer-Maus in der 2D-Ebene bewegt wird, um im dreidimensionalen virtuellen Raum zu navigieren. *Vorteile* wurden hauptsächlich in der *Anschaulichkeit* gesehen und der Möglichkeit, durch ausgewählte Betrachtungsstandpunkte den Benutzer zu führen.

Eine kartographische VRML-Anwendung eignet sich daher gut als *Ergänzung* bzw. *zusätzliches erläuterndes Element* in einer multimedialen Umgebung. Nachteilig sind derzeit noch die geringen Datenmengen, mit denen VRML-Browser operieren können, so dass Geometrie einfach gehalten werden muss bzw. nur begrenzte Ausschnitte der Landschaft visualisiert werden können (vgl. Hatger 1997, Zedi 2000).

#### 5.2.2.8 Virtual Reality

Das allgemeine Funktionsprinzip der *Virtual-Reality-Technologie* basiert auf Stereobildpaaren, die dem menschlichen Sehsinn zugeführt werden, so dass sich beim Betrachter ein *virtueller räumlicher Eindruck* ergibt. Entwicklungen bei der Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung (GMD) haben zum *virtuellen Arbeitsplatz* und zum *virtuellen*

*Arbeitsraum* geführt (vgl. Olbrich u. Pralle 2000). Bei dem virtuellen Arbeitsplatz (Responsive Workbench, Immersive Desk) dient eine Tischfläche als Darstellungsfläche für die Stereobildpaare; bei dem virtuellen Arbeitsraum (computer assisted virtual environment - Cave) sind es drei bis sechs Wand- und Deckenflächen.

Für diese Technologie existiert bereits eine Reihe von Beispielanwendungen, die jedoch vornehmlich aus den Bereichen Industrie-Design, Automobilbau, Maschinenbau, Rohstoffexploration oder der Computerspiele-Industrie kommen und häufig die Erzeugung von photorealistischen Anwendungen zum Ziel haben (Post 1999). Trotz hoher Kosten haben sich derartige Anwendungen im Automobilbau bereits amortisieren können und zu einer Verbesserung der Erkenntnis im Zusammenhang mit der Interpretation von komplexen dreidimensionalen geologischen Zusammenhängen geführt (Post 1999).

Über erste Anwendungen mit geographischem Bezug wird berichtet (Schmidt u. Uhlenkücken 1999). *Wegner* (1999) zeigt Anwendungsmöglichkeiten in der Raumplanung auf, *Zehner u. a.* (1999) sehen Vorteile bei der Visualisierung von geophysikalischen Daten und *Reik u. a.* (1999) bei geotechnischen Anwendungen. Die herausgestellten Vorteile sind jedoch meist hypothetischer Natur. Sie liegen in der Verbesserung der Wahrnehmung durch Perspektivdarstellungen (Wegner 1999), im intuitiven Begreifen und Erfahren (Uhlenkücken u. a. 1999) und in der Kommunikation von Informationen an Adressaten mit geringem Spezialwissen (Mach u. Lege 1999).



Abb. 5-2: Erkundung eines virtuellen Arbeitsraumes am Beispiel der 3D-Stereorückbetrachtungseinrichtung des Regionalen Rechenzentrums (RRZN) der Universität Hannover

Im Hinblick auf die *Kommunikationsleistung* werden an derartige Entwicklungen derzeit hohe Erwartungen gestellt. *Growe u. a.* (1998) zeigen die Anwendung von interaktiver 3D-Computergraphik für die Visualisierung von Fernerkundungsdaten auf. *Ottoson* (1999) verwendet eine immersive Darstellungsform zum Zweck der *Straßenplanung* und

zur *Information der Öffentlichkeit*. Im letzten Punkt sind die zu erwartenden Vorteile in Verbindung mit der visuellen Datenanalyse und der interaktiven Informationsgewinnung zu sehen, da die Straßenplanung in hohem Maße von der korrekten Relieffinterpretation abhängt. Die kartographische Anwendung der VR-Technologie steht zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch noch am Beginn der Nutzung (Buziek u. Döllner 1999, MacEachren u. a. 1999, Sieber u. a. 2000, Fairbairn u. a. 2001, Kap. 7).

*MacEachren u. a.* (1999) führen aus, dass sowohl immersive als auch nicht-immersive Darstellungen zu einem *eindeutigeren* und *natürlicheren* Verständnis raum-zeitlicher Prozesse führen können (vgl. 5.3).

Darüber hinaus haben eigene Gespräche mit Experten der Landschaftsarchitektur gezeigt, dass z. B. im Rahmen der Landschaftsplanung Planungskarten in Partizipationsprozessen leicht aufgrund ihrer hohen inhaltlichen Dichte und wegen ihres hohen Abstraktionsgrades versagen, so dass für Planungsbeteiligte und Entscheidungsträger anschauliche Ausdrucksformen wünschenswert sind (Fürst u. Scholles 1999).

Neben den Vorteilen, die sich aufgrund der besseren Unterstützung natürlicher Wahrnehmungsgewohnheiten ergeben, sind auch *wirtschaftliche Vorteile* erkennbar. Sie resultieren aus der Kopplung dynamischer immersiver Systeme mit Internet-Technologie, so dass in national oder global *verteilten* Einrichtungen, z. B. in Forschung und Politik, anhand eines anschaulichen dynamischen Sekundärmodells der Umwelt fachliche Aspekte erörtert und Entscheidungen getroffen werden können (vgl. Rhyne 1998, MacEachren u. a. 1999, Fairbairn u. a. 2001).

Damit erscheint sowohl im Hinblick auf die Verbesserung der Wahrnehmung und des Verstehens von Geoinformationen als auch auf die sich ergebenden wirtschaftlichen Vorteile bei bestimmten Anwendungen eine nähere, kartographisch motivierte Betrachtung gerechtfertigt (5.6, 6.3, Kap. 7).

Vor diesem Hintergrund ist es eine Teilzielsetzung dieser Arbeit, auch für *non-immersive* und *immersive 3D-Darstellungen* eine Arbeitsumgebung bereitzustellen, die sowohl durch *kartographische Gestaltung* als auch durch *kartographische Funktionalität* geprägt ist. Diese Überlegungen haben zur Entwicklung eines Prototyps geführt, der im Vergleich mit Karten und kartographischen Animationen für kartographisch motivierte Wahrnehmungsuntersuchungen eingesetzt werden kann (siehe Kap. 6.3).

### **5.2.3 Bewertung ausgewählter luK-Technologien aus kartographischer Sicht**

Für die Beurteilung des *kartographischen Potentials* der vorgestellten Bereiche der luK-Technologie sind zunächst die begriffliche Definition und die Schaffung eines Bewertungsmaßstabes notwendig. Das kartographische Potential einer Technologie beschreibt ihre *Leistungsfähigkeit* hinsichtlich der *Lösung kartographischer Aufgaben* und der *Erfüllung kartographischer Funktionen*. Das kartographische Potential ist *hoch*, wenn einerseits die Kartengestaltung und -herstellung effektiv unterstützt werden und andererseits die Informationsübertragung und -gewinnung für den Benutzer optimal und effektiv mit einer gewählten Technologie erfolgen kann. Das kartographische Potential findet Aus-

druck in der *Qualität* und *Attraktivität* einer kartographischen Darstellung (vgl. Spiess 1996).

Im Gegensatz dazu liegt ein *geringes* kartographisches Potential vor, wenn Aufgaben bzw. Funktionen nur teilweise, mit hohem Aufwand oder unter zusätzlicher Nutzung anderer Technologien erfüllt werden können. Die Bewertung ausgewählter Technologien enthalten die Tabellen 5-1 und 5-2.

Die modernen luK-Technologien besitzen vorwiegend ein *hohes kartographisches Potential*, das teilweise jedoch nur für Spezialanwendungen erkannt werden kann, die in kartographischen Multimedia-Anwendungen verwendet werden. Sie gehören daher zu den kartographischen Werkzeugen auf die zukünftig nicht verzichtet werden kann.

Zusammenfassend ist zu bemerken, dass neue luK-Technologien bei zweckgerechter Verwendung die Informationsübertragung zum Benutzer verbessern und die Informationsgewinnung vereinfachen können (vgl. Kap. 2 bis 4). Dieses Potential sollte im Sinne der effektiven Lösung kartographischer Aufgaben und der optimalen Erfüllung kartographischer Funktionen untersucht und genutzt werden. Ansätze dafür werden in den Kapiteln 6 und 7 diskutiert.

Technologie	Vorteile	Nachteile	Bewertung
<b>2D-Computer-graphik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• spezielle Kartographie-Software ist verfügbar</li> <li>• interaktive Gestaltung von Karten möglich</li> <li>• Datenbankanbindung möglich</li> <li>• Funktionsabläufe programmierbar</li> <li>• universell verwendbar</li> <li>• einfache Kartometriefunktionalität</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• primär Verarbeitung von Graphikdaten</li> <li>• Hauptanwendung für die Herstellung statischer Karten</li> <li>• Herstellung kinematischer und interaktiver Karten nur eingeschränkt möglich</li> <li>• Datenimport/-export mittels Graphikaustauschformaten</li> <li>• für die Datenmodellierung kann auf Zusatzprogramme nicht verzichtet werden</li> <li>• Berechnung von Karten-netzabbildungen für kleinmaßstäbige Atlaskarten nur mit Zusatzprogrammen möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>hohes kartographisches Potential</b> für die digitale und interaktive Herstellung statischer Karten</li> <li>• <b>geringes kartographisches Potential</b> für die Herstellung kartenverwandter Darstellungsformen und von Netzentwürfen für die Atlaskartographie (hoher Konstruktionsaufwand)</li> </ul>
<b>3D-Computer-graphik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verringerung des Abstraktionsgrades kartographischer Darstellungen</li> <li>• kartogr. Darstellungen entsprechen der menschlichen visuellen Wahrnehmungserfahrung</li> <li>• effektive Übertragung bestimmter raumbezogener Informationen, z.B. Geländeformen oder Landschaftsbilder</li> <li>• plastische Darstellung räumlicher Objekte und Bezüge, dadurch schnelle Informationsübertragung und -gewinnung für Laien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Parametrisierung (z.B. Wahl Perspektive, Kameraposition, Beleuchtung) aufwendig</li> <li>• keine speziellen Anwendungen für kartographische Zwecke verfügbar</li> <li>• keine Kartometriefunktionalität</li> <li>• hohe Anforderungen an die kartographische Gestaltung</li> <li>• Anbindung an Fremdsysteme mittels Konverter</li> <li>• keine standardisierte Kommandosprache</li> <li>• kein universeller Einsatz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>hohes kartographisches Potential</b> für die Gestaltung perspektivischer kartographischer Darstellungen und anschauliche Präsentationsaufgaben</li> <li>• <b>geringes kartographisches Potential</b> für allgemeine kartographische Anwendungen</li> <li>• stark spezialisiert</li> </ul>
<b>Computer-animation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• gute Darstellungsmöglichkeit von raumzeitlichen Veränderungen und Prozessen entsprechend ihrer natürlichen Erscheinung</li> <li>• bei Verwendung von 3D-Computergraphik s. o.</li> <li>• bei Verwendung von 2D-Computergraphik Erweiterung der Gestaltungsmöglichkeiten z.B. für Multimedia-Anwendungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• hohe Anforderungen an die kartographische Gestaltung, da Betrachtungszeitraum nicht individuell sondern vorgegeben</li> <li>• hoher Bedarf an Rechenzeit und Speicherplatz</li> <li>• hohe graphische Qualität nur mit Spezialvideorecordern erzielbar</li> <li>• Echtzeitwiedergabe mit Computern nur mittels spezieller Hardwareerweiterungen</li> <li>• kartographische Gestaltungsregeln derzeit für kartographische Computeranimationen nicht ausreichend</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>hohes kartographisches Potential</b> für die Darstellung dynamischer raumzeitlicher Prozesse und für die Herstellung bewegter Multimedia-Elemente</li> <li>• <b>geringes kartographisches Potential</b> für allgemeine kartographische Anwendungen</li> <li>• mangelhafte Funktionalität für Explorationsaufgaben</li> <li>• mangelnde Hypermediafunktionalität</li> </ul>

Tab. 5-1 a: Bewertung des Potentials moderner Informations- und Kommunikationstechnologien

Technologie	Vorteile	Nachteile	Bewertung
<b>GIS-Technologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Analyseeffizienz durch Kopplung von Geo-Datenbanken und interaktiver 2D-Computer-graphik</li> <li>flexible Anwendungsmöglichkeiten durch Kommandosprachen</li> <li>programmgesteuerte Berechnung statischer Karten</li> <li>Integration von Multimedia-Elementen, durch Verbesserung der Informationsübertragung</li> <li>gute Informationsgewinnung durch hohe Analyse- und Synthesefunktionalität</li> <li>mit entsprechenden Oberflächen auch durch erfahrene Laien bedienbar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Software ist sehr komplex</li> <li>zeitintensive Einarbeitung</li> <li>Schulung notwendig</li> <li>teuer</li> <li>Betrieb nur durch Fachleute</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>sehr hohes kartographisches Potential</b> bezüglich der Informationsgewinnung, da umfangreiche Analyse- und Synthesefunktionalität besteht und die Automatisierung kartographischer Gestaltungs- und Herstellungsprozesse unterstützt wird</li> <li><b>geringes kartographisches Potential</b> in Bezug auf die Integration multimedialer Darstellungsmittel und ihre interaktive Nutzung</li> </ul>
<b>Multimedia Hypermedia World-Wide-Web</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>hohe Effektivität bei der Informationsübertragung durch Kombination von visuellen und akustischen Darstellungsmitteln</li> <li>Interaktion und Hypermediafunktionalität ermöglichen die Erfüllung von Bedürfnissen unterschiedlicher Nutzergruppen</li> <li>hohes didaktisches Potential bei entsprechender Gestaltung</li> <li>Einsatzmöglichkeiten auf preisgünstigen Rechnern im Heimbereich bzw. im Internet</li> <li>Zugriffsmöglichkeit auf verteilte Datenbestände</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Endnutzergruppe eingeschränkt, da Rechnereinsatz erforderlich</li> <li>für die Gestaltung der Multimedia-Elemente ist der Einsatz von zusätzlicher Software notwendig</li> <li>es wird die Bereitstellung aber nicht die automatisierte Berechnung von Karten ermöglicht</li> <li>GIS-Funktionalität ist wünschenswert</li> <li>kartographische Gestaltungsregeln nicht ausreichend aufgrund neuer Darstellungsmittel (Akustik, Bewegung)</li> <li>bedarfsgerechte, individuelle Informationsgewinnung eingeschränkt</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>sehr hohes kartographisches Potential</b>, da hohe Effektivität bei der Informationsübertragung</li> <li>Möglichkeiten der Informationsgewinnung nicht nutzerspezifisch</li> </ul>
<b>VR Methoden</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Darstellung von räumlichen Objekten und räumlichen Bezügen durch virtuelle Raumbilder</li> <li>dadurch Vorteile der 3D-Computergraphik jedoch gekoppelt mit Interaktion</li> <li>Informationsübertragung sehr effektiv, da abstrakt-realistisch und in Originalgröße möglich (z. B. CAVE)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>modernste Computertechnologie erforderlich</li> <li>hoher Aufwand hinsichtlich der Datenmodellierung und Datenvisualisierung (Echtzeitgraphik erforderlich)</li> <li>Einrichtung und Bedienung derzeit nur durch Spezialisten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>hohes kartographisches Potential</b> für Spezialanwendungen (z. B. real-abstrakte Darstellung von Planungsszenarien)</li> </ul>

Tab. 5-1 b: Bewertung des Potentials moderner Informations- und Kommunikationstechnologien

### 5.3 Merkmalsklassifikation neuer kartographischer Ausdrucksformen

Die Nutzung neuer Technologien führt zu *kartographischen Ausdrucksformen*, die sich von Karten deutlich unterscheiden. Der Begriff "Kartographische Ausdrucksform" geht auf *Schmidt-Falkenberg* (1962) zurück, der damit verdeutlicht, dass die Kommunikationsmittel der Kartographie nicht ausschließlich graphikgebunden sein müssen.

Der nachstehende Definitionsvorschlag basiert auf die Überlegung und berücksichtigt zusätzlich die Erfordernisse der kartographischen Visualisierung:

*“Eine kartographische Ausdrucksform ist Bestandteil eines Kartographischen Informationssystems (KIS). Sie ist nach kartographischen Grundsätzen aufgebaut und erfüllt die Funktionen einer Karte. Für ihre Symbolisierung können neben visuellen auch akustische Zeichen verwendet werden. Als Zeichenträger dienen materielle und elektronische Medien, letztere ermöglichen auch zeitabhängige und virtuelle Darstellungen. Die kartographische Ausdrucksform ist ein Sekundärmodell der Umwelt. Ihre Kommunikationsfunktion wird durch Interaktion unterstützt.“*

Moderne kartographische Ausdrucksformen umfassen ein weites Darstellungsspektrum, das sich durch sechs wesentliche Merkmale charakterisieren lässt (Abb. 5-3). Sie prägen darüber hinaus die Wechselbeziehungen zwischen den Modulen des kartographischen Informationsverarbeitungssystems.

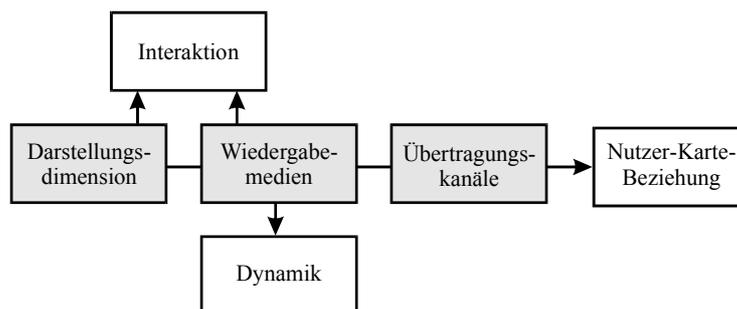


Abb. 5-3: Merkmale kartographischer Ausdrucksformen, ihr Zusammenhang und ihre Einflüsse

Unabhängig von der aus systemtheoretischer Sicht stets vorhandenen *Nutzerkomponente* ist es zweckmäßig, die *Wiedergabemedien* in den Mittelpunkt der Betrachtungen zu stellen, da es von ihnen abhängt, welche *Ausdrucksformen* realisiert werden können, welche Art der *Interaktivität* möglich ist, welche *Übertragungskanäle* genutzt werden können und wie der Nutzer die kartographische Ausdrucksform empfindet (sog. *Nutzer-Karte-Beziehung*). Abbildung 5-3 veranschaulicht diese Merkmale. Sie heben besonders die *technische Dimension* des KIVS hervor, die noch weiter differenziert werden kann (Tab. 5-2).

Die Klassifikation von kartographischen Ausdrucksformen nach **Wiedergabemedien** ist besonders geeignet, um entweder von bestehenden technischen Rahmenbedingungen auf die verfügbaren Gestaltungsmöglichkeiten zu schließen oder ihre Zweckmäßigkeit für bestimmte kartographische Aufgabenstellungen zu beurteilen. Sie lassen einen technologieorientierten Einstieg in den Gestaltungsraum der kartographischen Visualisierung zu. Für kartographische Zwecke wichtige Wiedergabemedien sind die *Printmedien* (Papier, Zeitschrift, Buch usw.), *bildschirmbezogene Medien* (TV, TV-Bildwände, Computer,

Head-Up-Displays usw.) und *projektionsbezogene Medien* (Lichtbild, Overheadprojektor, Beamer, Stereorückbetrachtungseinrichtungen, vgl. 5.2.2.8).

Darstellungsmerkmale	Merkmalsgliederung
<b>Wiedergabemedium</b>	<b>Printmedien:</b> Papier, Folie, Zeitschrift, Buch <b>Bildschirmbezogene Medien:</b> TV, Bildschirmwand, Computer, Head-Up-Displays <b>Projektionsbezogene Medien:</b> Dia, Overheadprojektor, Beamer, Rückbetrachtungseinrichtungen
<b>Darstellungsdimension</b>	2D, pseudo-3D, 3D
<b>Dynamikgrad</b>	statisch, kinematographisch, dynamisch
<b>Interaktionsgrad</b>	nicht-interaktiv, interaktiv
<b>Darstellungskanäle</b>	visuell, akustisch
<b>Nutzer-Karte-Beziehung</b>	trennend, integrierend, realitätsverstärkend

Tab. 5-2: Merkmale kartographischer Darstellungen und ihre Gliederung

Mit der **Darstellungsdimension** wird der räumliche Wahrnehmungseindruck beschrieben. Die Darstellungsdimension ist in technologischer Hinsicht abhängig von den Wiedergabemedien. Aus wahrnehmungstheoretischer Sicht bestimmt sie entscheidend den Grad der *Ansaulichkeit* einer kartographischen Ausdrucksform. Die Darstellungsdimension wird unterteilt in *2D*-, *pseudo-3D*- (*unechte 3D-Darstellungen*) und *echte 3D-Darstellungen*. *Pseudo-3D-Darstellungen* vermitteln einen virtuellen Eindruck räumlicher Tiefe, während die zu den *echten 3D-Darstellungen* zählenden Modellreliefs, Reliefkarten und Globen das Erdrelief bzw. den Erdkörper dreidimensional darstellen. Sie werden in dieser Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

Der **Dynamikgrad** umfasst den gesamten Bereich des *temporalen Verhaltens* einer kartographischen Darstellung. Er führt von *statischen* zu *dynamischen Ausdrucksformen* (vgl. Kap. 6). Maßgebliche Einflussgrößen sind neben der verfügbaren Technologie die Charakteristik der Daten sowie die Interaktivität (siehe 5.6).

Der **Interaktionsgrad** beschreibt die Möglichkeiten der *Interaktivität*, und damit indirekt die pragmatische Dimension kartographischer Ausdrucksformen, die zu individuellen Handlungen führen kann und diese unterstützt. Um Missverständnisse zu vermeiden, werden kognitive Prozesse, wie z. B. Kartenlesen und Karteninterpretation, hier nicht zugeordnet. Die *Spannweite* des Interaktionsgrades reicht von *gering-interaktiv* (Papierkarte) bis *interaktiv* (Multimedia-Atlas). Weitere Differenzierungen der Interaktivität werden in Abschnitt 5.6.1.2 vorgestellt.

Des Weiteren ist es sinnvoll, zwischen unterschiedlichen **Interaktivitätsarten** zu differenzieren. Sie lassen sich unterscheiden in die Bereiche *Darstellung* (z. B. Navigation), *Karteninhalt* und *Analyse* (z. B. Kartometrie). Diesen Kategorien können typische Funktionen zugeordnet werden, die üblicherweise durch die Benutzungsoberfläche dem Nutzer zugänglich gemacht werden. Dieser Aspekt wird in den Abschnitten 5.5 und 6.3 ausgiebig diskutiert.

Eine weitere maßgebliche Kategorie sind die **Darstellungskanäle**. Sie bestimmen mit welchen Sinnesmodalitäten (visuell, auditiv) der Rezipient die übermittelten Geo-Daten perzeptiv und kognitiv verarbeitet.

Die **Nutzer-Karte-Beziehung** (NK-Beziehung) ist ein Merkmal, das im Hinblick auf die wahrnehmungsorientierte Beschreibung des Kartenlesens und des Arbeitens mit karto-

graphischen Darstellungsformen eingeführt wird. Bei der Arbeit mit traditionellen Karten besteht eine *deutliche Trennung* von Nutzer und Darstellung. Sie erfordert bestimmte kognitive Prozesse der Informationsentnahme, z. B. das Kartenlesen und -interpretieren. Durch die Anwendung von projektiv arbeitenden Wiedergabemedien (Stereorückbetrachtungseinrichtungen usw.) schwindet jedoch Trennung zwischen Rezipient und Darstellung. Dies führt entweder zu einer Integration des Nutzers in eine virtuelle Welt oder verstärkt mit Zusatzinformationen den Wahrnehmungseindruck. Dies hat erhebliche Auswirkungen auf die Raumwahrnehmung und damit sowohl auf das „Karten“-lesen als auch auf die „Karten“-interpretation. Die NK-Beziehung kann daher *trennend*, *integrierend* (*immersive reality*) oder *realitätsverstärkend* (*augmented reality*) sein.

Die hier vorgestellte Merkmalsklassifikation neuartiger kartographischer Ausdrucksformen ermöglicht die eindeutige Zuordnung von experimentellen Untersuchungen, Untersuchungsergebnissen und Gestaltungs- und Verwendungsprinzipien (vgl. Kap. 7).



## 5.4 Semiotische Aspekte der visuellen und akustischen Gestaltung von kartographischen Sekundärmodellen der Umwelt

### 5.4.1 Vorbemerkungen

Moderne kartographische Ausdrucksformen haben die allgemeine Aufgabe, die reale Umwelt und darauf bezogene numerisch-geometrische Modelle, z. B. GIS-Datenmodelle und Simulationen, möglichst zutreffend in ein Tertiärmodell der Umwelt zu transformieren und mit individuellen Primärmodellen der Umwelt zu kombinieren. Es besteht daher die Aufgabe, die *zeitlich-räumliche* Charakteristik von Geo-Objekten und ihren Relationen durch Daten zu beschreiben und durch eine zutreffende Wahl und Gestaltung von Ausdrucksmitteln wiederzugeben. Dies ist eine weitere Wechselbeziehung im kartographischen Informationsverarbeitungssystem, die vor allem durch die *Semiotik* beschrieben werden kann.

Kern der kartographischen Semiotik ist das von *Bertin* (1967/1982) entwickelte System der *graphischen Variablen*. Es deckt jedoch nur die *graphische* Gestaltung ab. Für die *akustische* und *zeitliche* Gestaltung - wie sie moderne kartographische Ausdrucksformen erfordern -, muss dieses System daher erweitert werden. Nachfolgend wird ein Ansatz dafür vorgestellt, der auf einer **Erweiterung der traditionellen Zeichenelemente und Variablen** basiert und für die Verknüpfung von Graphik, Akustik und Dynamik die "Veränderung" als **übergreifendes Variablenmerkmal** einführt.

### 5.4.2 Grundlagen des kartographischen Zeichensystems und die Diskussion neuerer Erweiterungsvorschläge

*Bertin* (1982) begründet ein System von insgesamt 8 Variablen, die geeignet sind ein „graphisches Bild“ zu parametrisieren. Es sind die *graphischen Variablen*, die die Anordnung und Ausprägung graphischer Elemente in einer Bildfläche beschreiben. Dazu gehören zwei *Dimensionen der Ebene* (X, Y) sowie die *Größe* und der *Helligkeitswert* von Zeichen. Sie werden ergänzt durch die *trennenden Variablen*. Sie gestatten die graphische Differenzierung der Bildinhalte durch die Variation von *Muster*, *Farbe*, *Richtung* und *Form*. Von *Hake* und *Grünreich* (1994) werden die *Bertin'schen* Variablen als *kartographisches Zeichensystem* bezeichnet. Sein *dreistufiger* Aufbau gliedert sich in:

1. **graphische Elemente** (Punkt, Linie, Fläche)
2. **zusammengesetzte Zeichen** (Diagramm, Halbton, Schrift) und
3. **graphische Gefüge**.

Die Untersuchungen von *Bertin* (1982) führen u. a. auch zu Empfehlungen bezüglich der primären Variablenverwendung und der Festlegung ihrer Syntax. Sie richtet sich nach der *Charakteristik* der zu visualisierenden Daten, die anhand drei unterschiedlicher Skalen und einer Sichtbarkeitskomponente differenziert werden kann. Es sind

1. die **Quantitätsskala** (Proportionen), die eine Gliederung nach absoluten numerischen Größen, etwa Mengen, gestattet,
2. die **Ordinalskala** (Ordnung) für die Wiedergabe geordneter relativer Werte, etwa Größen- und Mengenunterschiede,

3. die **Nominalskala** (Selektivität) für die Gliederung von klassifizierten Werten bzw. Objektqualitäten und
4. die **Sichtbarkeitsskala** (Assoziativität, Dissoziativität) für die Beschreibung der Wahrnehmbarkeit.

Die Stärke des *Bertin'schen* Variablensystems zeigt sich durch einen Vergleich mit den grundsätzlichen Merkmalen und Mechanismen der visuellen Wahrnehmung (vgl. Kap. 3, 4). Einer ihrer Basismechanismen ist die *Erkennung* von *Konturen*, *Rändern* und *Kanten* durch orientierungsspezifische Zellen. Gestalterisch wird dieser Mechanismus durch eine sinnvolle Wahl der graphischen Variablen *"Muster"* und *"Farbe"* gewährleistet, so dass sich eine ausreichende Differenzierung der graphischen Elemente zum Kartengrund (bei Punkten und Linien) und zwischen benachbarten Flächen ergibt. Übertriebene Kantenbetonungen, z. B. durch zusätzliche Begrenzungslinien oder durch hohe Farbkontraste, sind dabei zu vermeiden, da aufgrund der Kontursensitivität der visuellen Wahrnehmung bereits geringe Muster- oder Farbunterschiede ausreichend sind und eine zu hohe graphische Belastung des Kartenbildes so vermieden werden kann. Eine weitere Verringerung der Musterdifferenzierbarkeit und der Farb- oder Helligkeitsdifferenzierbarkeit wirkt der Kantenbildung entgegen und führt zu dem subjektiven Eindruck einer „unscharfen“ Begrenzung. Dieser Eindruck kann genutzt werden, um räumlich nicht klar abgrenzbare Flächen darzustellen oder stochastische Flächenmerkmale, z. B. Genauigkeiten, auszudrücken. Besonders prägnante Flächenfüllungen sind hingegen Schraffurmuster, da ihre parallel verlaufenden Linien besonders die komplexen Zellen des visuellen Wahrnehmungssystems ansprechen (vgl. 3.2.4). Die Variablen *"Form"* und *"Größe"* werden durch hyperkomplexe Zellen auf einem höheren Kognitionsniveau erkannt und setzen daher weitere kognitive Prozesse voraus. Aus diesem Grunde ist die Erkennung dieser Variablen mit einem höheren Zeitbedarf verknüpft.

*Bertin* (1967/1982) hat bei seinen Untersuchungen mehrere Möglichkeiten der Darstellung ausgeklammert, die in den letzten Jahren mehr und mehr zu Ausdruckselementen der Kartographie geworden sind. Für die graphische Präsentation sind dies die *Raumdarstellung* durch Anwendung der Gesetze der Perspektive sowie die *zeitliche Darstellung* von Veränderungen. Im Hinblick auf die Gestaltung multimedialer kartographischer Informationssysteme muss darüber hinaus die *Akustik* berücksichtigt werden. Die nachfolgenden Abschnitte haben die *Erweiterung* des *Bertin'schen* Zeichen- und Variablensystems zum Ziel, so dass es sowohl als Basis für die Parametrisierung von herkömmlichen als auch neuartigen Darstellungsmöglichkeiten genutzt werden kann.

Ein Erweiterungsvorschlag zum *Bertin'schen* Ansatz stammt von *MacEachren* (1995). Er bezeichnet das *Bertin'sche* Konzept zu restriktiv und spricht sich aufgrund der Möglichkeiten moderner Computertechnologie für die Einführung weiterer Variablen, Merkmalskalen und Bewertungsgrößen aus.

*MacEachren* schlägt das Element „Klarheit“ vor, das sich aus den Variablen „Schärfe“ (*crispness*), „Auflösung“ und „Transparenz“ zusammensetzt. „Klarheit“ kann besonders gut für die Visualisierung von *Datenunsicherheit* eingesetzt werden, indem die Variable „Auflösung“ z. B. die Pixelgröße eines Flächenrasters beschreibt und dadurch die Datenunschärfe zum Ausdruck bringt (vgl. Abb. 5-4a/b).

Bei näherer Betrachtung dieses Vorschlags zeigt sich jedoch, dass er auf die *Bertin'schen* Variablen zurückgeführt werden kann. „*Transparenz*“ wird von *Bertin* (1982) sogar als *Eigenschaft von Mustern* explizit angeführt.

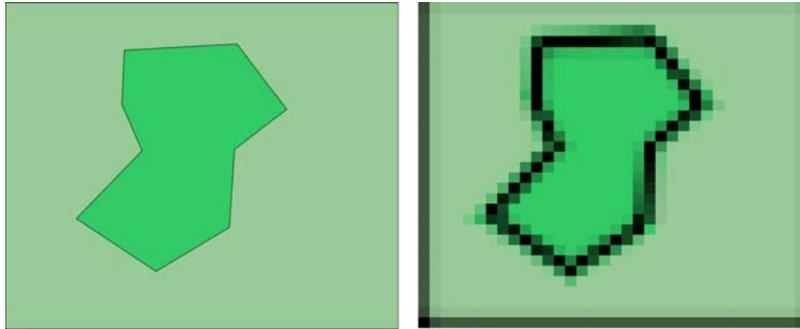


Abb. 5-4: Anwendung der Variablen „Auflösung“ auf die Darstellung einer Fläche zur Verdeutlichung der Datenunsicherheit (links (a): geringe Datenunsicherheit; rechts (b): hohe Datenunsicherheit)

Die Analyse der Abbildung 5-4a/b hinsichtlich ihrer Variablen ist ein Beleg für obige Feststellung. Die in Abbildung 5-4b gezeigte Fläche setzt sich zusammen aus einer endlichen Zahl einzelner Pixel, die ihrerseits wiederum Flächen mit einer Füllung sind und somit auf die *Bertin'schen* Variablen „*Fläche*“ und „*Füllung*“ zurückgeführt werden können. Die Variable „*Auflösung*“ darf daher nicht auf einer Hierachiestufe mit den ursprünglichen graphischen Variablen verwendet werden. Sie kann besser als Folge eines kognitiven Prozesses der Informationsverarbeitung interpretiert werden, da sie ein *Wahrnehmungseindruck* ist, der aufgrund einer kontinuierlichen Helligkeitsveränderung des Farbtons am Flächenrand entsteht. Unter diesem Aspekt ist die „*Auflösung*“ ein *Merkmal* des *Musters*. In ähnlicher Weise kann die vorgeschlagene Variable „*Transparenz*“ diskutiert werden. Sie ist ebenfalls das *Merkmal* einer Flächenfüllung (*Muster*), die die Darstellung darunterliegender Elemente derart beeinflusst, dass sie nicht verdeckt, sondern in ihren Farbwerten verändert werden. *Transparenz* ist damit ebenso wie die *Opazität* ein *Merkmal* und keine graphische Variable (Abb. 5-5).



Abb. 5-5: Anwendung einer transparenten Flächenfüllung für einander überlagernde Objekte

Gleiches gilt für die Variable „*Schärfe*“ (*crispness*), die ein wesentliches *Merkmal* eines unscharf begrenzten Objektes gut zum Ausdruck bringt (vgl. Abb. 5-4a/b). In graphischer Hinsicht kann jedoch auch sie auf die elementaren *Bertin'schen* Variablen zurückgeführt

werden, z. B. als Füllung einer bandhaften Signatur mit variierendem Tonwert (Abb. 6-4b).

Die Erweiterung des *Bertin'schen* Variablensystems muss daher auf einer anderen Klassifizierungsebene erfolgen. Dies kann die Einführung von *Sekundärvariablen* für die Beschreibung spezifischer Objektmerkmale sein oder alternativ die Zuordnung von *Merkmalen* für die weitere Differenzierung. In beiden Fällen muss jedoch bedacht werden, dass dieser Schritt eine erhebliche Zunahme variabler Einflussgrößen bewirkt und eine komplizierte Handhabung des Variablensystems nach sich zieht.

Als weitere Variable schlägt *MacEachren* (1995) „*Arrangement*“ vor und meint damit die sich durch Kombination von Einzelelementen ergebenden Verteilungsmuster (vgl. Kraak u. Ormeling 1996). Sie unterliegen den Gesetzmäßigkeiten der Gestalttheorie und ergeben sich auf einer höheren Ebene der kognitiven Verarbeitung visueller Reize durch Gruppierungseffekte (vgl. Abschnitt 4.3.2). Sie können jedoch eher den von *Hake* und *Grünreich* (1994) vorgeschlagenen *zusammengesetzten Zeichen* (den Superzeichen der Informationstheorie) oder den *graphischen Gefügen* des kartographischen Zeichensystems zugeordnet werden, als den primären graphischen Variablen.

*MacEachren* (1995) ist jedoch in seiner Kritik an der nicht zweckgerechten dogmatischen Verwendungsbewertung der graphischen Variablen zuzustimmen. Die von ihm vorgeschlagene Erweiterung in „*gut geeignet*“, „*geeignet*“ und „*weniger geeignet*“ erscheint durchaus sinnvoll und unterstreicht die Flexibilität der graphischen Gestaltung, zumal *Bertin* ohnehin die sich ergebenden Wechselwirkungen bei der Variablenkombination aufzeigt. Das sich unter diesen Aspekten ergebende System graphischer Primärvariablen ist u. a. in Tabelle 5-3 enthalten.

#### **5.4.3 Die Erweiterung des kartographischen Variablen- und Zeichensystems auf den dreidimensionalen Raum durch Einführung der Variablen „Raumdimension“ und des Zeichenelements „Volumen“**

Das System der graphischen Variablen nach *Bertin* (1967) und die Erweiterungsvorschläge von *Morrison* (zit. von *MacEachren* 1995) und *MacEachren* (1995) sind ausgerichtet auf die Verwendung von Graphik in der *Zeichen-Ebene* (XY-Ebene nach der *Bertin'schen* Terminologie) und auf ihre Wahrnehmung als orthographische Projektion bzw. Parallelperspektive. Die **Raumwahrnehmung** wird in diesem Fall simuliert durch die grundrissliche Variation von Signaturengrößen bzw. der Helligkeitswerte von Flächen, die die Funktion der nicht vorhandenen Z-Komponente übernehmen und Pseudo-Raumstrukturen bilden. Bei diesem Prozess wirkt das *Prägnanzkonzept* der Gestalttheorie (vgl. 4.3.2). Die zu diesem Konzept gehörenden Gesetzmäßigkeiten der *Ähnlichkeit* und *räumlichen Nähe* unterstützen besonders die Gruppenbildung, so dass *räumliche* Strukturen sichtbar werden, während Helligkeitsveränderungen mit einer *Tiefenstaffelung* assoziiert werden. Ergebnis ist die *räumliche* Interpretation der graphischen Anordnung. Ein typisches Beispiel dafür sind helligkeitsgestufte Flächendarstellungen, wie sie für die Darstellung des Reliefs oder anderer Kontinua (z. B. Schadstoffkonzentrationen) Verwendung finden. Die Variable „*Helligkeit*“ dient in diesem Fall der Darstellung der *dritten Dimension* des Raumes.

Eine moderne Möglichkeit zur Darstellung der dritten Dimension ist die *Anwendung perspektivischer Abbildungen* bei der Erzeugung des Sekundärmodells der Umwelt. Sie kann durch Anwendung von Methoden der 3D-Computergraphik auf entsprechende Geo-Datenmodelle leicht erfolgen. Die resultierende Ausdrucksform ist in dieser Arbeit als *pseudo-3D-Darstellung* bereits eingeführt worden (vgl. 5.3.2). Die *hohe Anschaulichkeit* macht diese Darstellungsform für die Kommunikation von Rauminformationen besonders interessant (vgl. 5.2.2.2, 5.2.2.8). Ihre Benutzung ist oftmals mit interaktiven Perspektivänderungen verbunden, so dass *Invarianzen* für die Wahrnehmung dieser Ausdrucksformen von besonderer Bedeutung sind. Im folgenden soll daher im Sinne des KIVS-Ansatzes exemplarisch der Frage nachgegangen werden, ob ausgewählte graphische Variablen invariant sind bei ihrer Übertragung auf perspektivische Abbildungen oder ob sich dadurch Veränderungen ihrer Eigenschaften ergeben, die einen Ergänzungsbedarf des *Bertin'schen* Variablensystems für diesen Anwendungsfall rechtfertigen würden. Ersteres spricht für die Universalität des *Bertin'schen* Systems und würde helfen, die Parameter in einem überschaubaren Umfang zu halten.

Bei dem Übergang auf den 3D-Raum durch Einführung der Variablen **"Raumdimension"** besteht der grundsätzliche Unterschied zur zweidimensionalen Darstellung zunächst darin, dass zusätzlich zur Darstellung graphischer Elemente in der Ebene nunmehr auch graphische Elemente im *Raum* dargestellt werden können. Die graphischen Grundelemente des kartographischen Zeichensystems *Punkt, Linie, Fläche* müssen daher um das *Zeichenelement "Volumen"* erweitert werden (siehe Tab. 5-6, vgl. Dransch 1995). Es steht für beliebige topographische Objekte aber auch für thematische oder stochastische Sachverhalte mit Raumbezug wie z. B. meteorologische Phänomene oder Signifikanzangaben.

*Mit "Volumen" sollen in diesem Zusammenhang alle Objekte bezeichnet werden, die beim Betrachten einer perspektivischen Abbildung als räumlich erkannt werden. Im System der Bertin'schen Variablen wird diese Erweiterung durch die Substitution der bildgebenden XY-Ebene mit der Variablen "Raumdimension" zum Ausdruck gebracht (Tab. 5-3).*

Bei der Anwendung auf Volumina beschreibt die graphische Variable „*Größe*“ die *Quantität* und *Ordnung*. In perspektivischen Darstellungen hängt sie zusätzlich von den Positionen des Volumens und des Projektionszentrums im Raum ab. Sie eignet sich daher nur eingeschränkt für die quantitative Volumenbeschreibung, zumal der Konstanzmechanismus der Größenwahrnehmung bei abstrakten Raumobjekten leicht versagen kann (vgl. Abb. 4-11).

Die Funktion der Variablen „*Helligkeit*“ ändert sich ebenfalls. Die Helligkeit wird nicht mehr als struktur- und bildbildende Komponente wahrgenommen. Sie ist nunmehr *Bertins* trennenden graphischen Variablen zuzuordnen und konkurriert mit der *Sättigung* um den Ausdruck von Quantitäten und Ordnungsmerkmalen (z. B. Höhe von Schadstoffkonzentrationen). Zusätzlich unterstützen „*Helligkeit*“ und „*Sättigung*“ die Wahrnehmung der *Objektform*, da sie für die graphische Simulation von Lichtverhältnissen im Sekundärmodellraum verwendet werden.

		quantita- tiv	ordinal	nominal	Sichtbarkeit
<b>Bild- bildend</b>	<b>Raumdimension (3D)</b>				gleichmäßig
	<b>Größe</b>				unterschied- lich
	<b>Farbe</b> - Helligkeitswert				unterschied- lich
<b>Trennend</b>	<b>Muster</b> - Klarheit - Auflösung - Transparenz				gleichmäßig
					gleichmäßig
					gleichmäßig
	<b>Farbe</b> - Farbton - Sättigung				gleichmäßig
					gleichmäßig
	<b>Richtung</b>				gleichmäßig
<b>Form</b>				gleichmäßig	

Tab. 5-3: Die graphischen Variablen von *Bertin* und die Bewertung ihrer Anwendbarkeit nach *MacEachren* (1995). „Gut geeignet“ (dunkelgrau), „geeignet“ (hellgrau), „weniger geeignet“ (weiß)

Die graphischen Variablen „*Muster*“ und „*Farbe*“ ändern bei der Anwendung auf Volumen ihre Funktionen nicht. Sie wirken *selektiv* (Objektdifferenzierbarkeit) und *assoziativ* (gleichmäßige Sichtbarkeit).

*Texturen* - als spezielle Form von Mustern - steigen hingegen in der Bedeutung, da sie bei topographischen Objekten der maßgebliche Träger bildlich-realistischer *semantischer Information* sind und damit zur Differenzierung (Selektivität) thematischer bzw. substantieller Merkmale beitragen.

Ein *kartographisches Beispiel* dafür ist die architekturperspektivische Integration markanter Gebäude in eine topographische Karte. Dies steigert die Anschaulichkeit und vereinfacht die Raumorientierung durch Verbesserung des Wiedererkennungseffektes: Das Modell der Realität wird realistischer. Ein weiteres Beispiel für die Verwendung von *Texturen* ist die Veranschaulichung der Oberflächenrauheit von Körpern durch texturale Variation. Dies führt zwar zu einer geringfügigen Veränderung von Farbhelligkeit und -sättigung, die jedoch durch den Wahrnehmungsmechanismus „*Farbkonstanz*“ leicht wieder ausgeglichen wird (4.3.6.5). Das Kartenbild ist geringer belastet und zudem auch geeignet für die Integration weiterer graphischer Elemente. Die Verwendung von *Mustern*, die ausschließlich auf primären kartographischen Variablen beruhen, führt hingegen zu einer höheren graphischen Belastung und schränkt dadurch die weitere graphische Gestaltung ein.

#### **5.4.4 Die Erweiterung des kartographischen Variablen- und Zeichensystems um die Zeitkomponente durch Einführung des Variablenmerkmals „Veränderung“**

##### **5.4.4.1 „Veränderung“ als neues Merkmal des kartographischen Zeichen- und Variablensystems**

Aus der Analyse der Physiologie des visuellen Sinnes ergab sich, dass eine primäre Fähigkeit die schnelle *Erkennung von Bewegungen bzw. Veränderungen* ist (Abschnitt 3.2). "Veränderung" in graphischen Darstellungen kann hinsichtlich ihres Zwecks nach zwei maßgeblichen Gesichtspunkten differenziert werden:

1. zum Zwecke der *Darstellung von Bewegungen und Prozessen* oder
2. als Hilfsmittel der *Aufmerksamkeitssteuerung* des Adressaten (vgl. 3.2.4).

*Veränderung* kann auf alle graphischen Zeichenelemente angewendet werden, und zwar durch Variation der *graphischen Variablen* und durch Anwendung von räumlichen *Transformationen* auf die Elemente des kartographischen Zeichensystems und die zwischen ihnen bestehenden *Wechselbeziehungen*. Wichtig dabei ist, dass stets das KIS seine *Identität* bewahrt. Dies ist gewährleistet, solange die Grenzen der menschlichen Wahrnehmung nicht überschritten werden. Es sind daher im zeitlichen Veränderungsverlauf stets ausreichende Farbkontraste, assoziative Farbgebungen und die zweckmäßige Verwendung kartographischer Variablen sicherzustellen.

Werden die Gestaltungsprinzipien durch die Darstellung von Veränderungen verletzt, so ergibt sich im Extremfall eine *Systemveränderung* und damit verbunden die Veränderung der Transformationsbeziehungen zwischen dem Sekundär- und Tertiärmodell der Umwelt. Der Adressat muss in diesem Fall die Systemstrukturen durch Lesen und Interpretieren neu herstellen und ein weiteres Tertiärmodell der Umwelt bilden.

Veränderungen in einer kartographischen Ausdrucksform erfordern für eine konsistente Tertiärmodellbildung daher stets die Beachtung des von *Rapoport* (1988) formulierten Prinzips „*Konstanz im Wandel*“. Es ist gleichermaßen das *Grundprinzip* für dynamische kartographische Ausdrucksformen:

*Trotz auftretender Veränderungen müssen stets **Invarianzen** erkennbar sein, die den fortwährenden Raum- und Zeitbezug der veränderten Elemente und Wechselbeziehungen ermöglichen. Die Wahrnehmungsprinzipien **Konstanz** und **Wiedererkennung** sind stets zu wahren!*

*Dransch* (1995) differenziert Veränderungen nach *Coffey* in *Prozesse* und *Bewegungen*. Mit *Bewegungen* ist stets eine Veränderung im Raum verknüpft, während *Prozesse* entweder räumliche strukturelle Veränderungen bewirken oder zu substantiellen Veränderungen von Objektmerkmalen führen. Das Bertin'sche Konzept ist jedoch allgemein formuliert, so dass Beziehungen von Variablen zu konkreten Objekten und ihren Merkmalen auch die Übernahme dieser in das kartographische Zeichensystem bedeuten würde. Eine unnötige Erhöhung der Komplexität wäre die Folge. Dies ist vermeidbar unter Verzicht in die Differenzierung nach *Coffey* und **durch Integration der "Veränderung" als übergreifendes Zeichen- und Variablenmerkmal**, das in allgemeine Eigenschaften weiter differenziert wird.

#### 5.4.4.2 Veränderungseigenschaften und ihre Verwendung

Die Überlegungen im Abschnitt 5.4.4.1 zeigen, dass "Veränderung" nicht eigenständig auftritt, sondern stets auf den Raum und seine Objekte wirkt. Die Übertragung dieses Erkenntnis auf das kartographische Zeichensystem führt zu dem Schluss, dass die "Veränderung" sowohl mit Zeichenelementen als auch Variablen fest verknüpft sein muss, da diese letztendlich graphisch den Raum mit seinen Objekten beschreiben. Die "Veränderung" beschreibt sozusagen die *temporalen Eigenschaften der Zeichenelemente und der graphischen Variablen*.

Wie die Überlegungen von Coffey (zit. von Dransch 1995) zeigen, ist die alleinige Einführung der "Veränderung" als Merkmal des kartographischen Zeichensystems nicht ausreichend, da unterschiedliche Formen der "Veränderung" existieren. Es ist daher die Festlegung von "Veränderungseigenschaften" erforderlich. Dazu werden in dieser Arbeit die *dynamischen Variablen* nach DiBiase u. a (1992) und MacEachren (1994/1995) genutzt, als „**Veränderungseigenschaften**“ betrachtet und in ein umfassendes Variablensystem integriert. Sie lauten:

1. der *Zeitpunkt* des Eintretens der Veränderung (Display Date, Moment),
2. die *Dauer* der Veränderung (Duration – permanent, temporär),
3. die *Reihenfolge* von Veränderungen (Order – geordnet, willkürlich),
4. die *Intensität* von Veränderungen (Rate of Change – hoch, gering),
5. die *Veränderungsfrequenz* (Frequency – einmalig, periodisch, ) und
6. die *Synchronisation* von zeitlich parallel verlaufenden Veränderungen (Synchronisation).

Damit ist der konsequente Bezug zur Graphik hergestellt, so dass sowohl *statische* als auch *dynamische* Graphik im dreidimensionalen Modellraum beschrieben werden kann. Darauf aufbauend stellt sich nun die Frage nach der *Wahrnehmungswirkung* der Veränderungseigenschaften, die stets im Zusammenhang mit Zeichenelementen und graphischen Variablen betrachtet werden muss. Erste Untersuchungen dazu sind von Köbber und Yaman (1995) in Form von *Vortests* durchgeführt worden. Dabei wurden die Veränderungseigenschaften isoliert visualisiert und insgesamt 10 Versuchspersonen gezeigt, so dass die Ergebnisse nicht repräsentativ und vorläufig sind (Tab. 5-4).

Veränderungseigenschaft	quantitativ	ordinal	nominal	Sichtbarkeit	Wirkung
Eintrittszeitpunkt				gleichmäßig	Aufmerksamkeit
Dauer					
Reihenfolge				unterschiedlich	
Intensität					Aufmerksamkeit
Frequenz				unterschiedlich	Aufmerksamkeit
Synchronisation	Nicht getestet				


 hoch
  mittel
  gering

Tab. 5-4: Die Wahrnehmungswirkung von dynamischen Variablen anhand von Vortests mit geringem Stichprobenumfang (Nach Köbber und Yaman 1995)

Über weiterführende oder alternative Untersuchungen gibt es bis zum jetzigen Zeitpunkt (Sommer 1999) *keine* veröffentlichten Berichte. In Tabelle 5-4 sind die vorläufigen Ergebnisse zusammengestellt. Im Vergleich mit den *Bertin'schen* Variablen zeigt sich generell eine schwächere Wirksamkeit, da lediglich die "Veränderungsdauer" und die "Veränderungsintensität" als "hoch wirksam" identifiziert wurden.

#### 5.4.4.3 Aufmerksamkeitsreaktionen als Folge von graphischen Veränderungen am Beispiel der "Veränderungseigenschaften"

In den vorhergehenden Abschnitten wurde die „Veränderung“ vorwiegend unter dem Aspekt der Prozess- bzw. Bewegungsdarstellung diskutiert. "Veränderung" und "Bewegung" sind optische Reize, die mit hoher Priorität vom Sehsinn verarbeitet werden und mit der *Aufmerksamkeitssteuerung* eng verknüpft sind (Abschnitt 3.2). Insbesondere für kartographische Animationen oder multimediale kartographische Darstellungsformen kann die gestalterische Verwendung dieser Eigenschaft vorteilhaft genutzt werden, da durch die Ansprache der *Aufmerksamkeit* auch die *Rezeption der Reize* sichergestellt wird (3.2.4).

Die sequentielle Lenkung der Aufmerksamkeit eines KIS-Nutzers auf ausgewählte Zeichenelemente ist ein wesentlicher Unterschied zwischen dynamischen Ausdrucksformen und statischen Karten. Letztere können nur aufgrund ihrer Gestaltung und ihrem gesamten Erscheinungsbild die Aufmerksamkeit eines Benutzers *auf sich* lenken, z. B. weil sie besonders interessant und neuartig wirken (vgl. Spiess 1996). In diesem Fall können durch eine entsprechende graphische Gestaltung nur *wenige* ausgewählte Elemente hervorgehoben werden, die dann besonders prägnant wirken und sich durch ihre deutliche Differenzierung von der graphischen Umgebung abheben.

Dynamische Darstellungen hingegen vermögen die **Aufmerksamkeitssteuerung als bewusstes Gestaltungsmittel** zu integrieren und können dadurch eine *sequentielle Aufmerksamkeitslenkung* bewirken. Zugleich kann durch die zweckmäßige Berücksichtigung der *Veränderungseigenschaften* - analog zur Wirkungsweise der graphischen Variablen - eine Klassifizierung der Objekt- oder Prozessmerkmale vorgenommen werden.

Die nachfolgenden Beispiele zeigen Verwendungsmöglichkeiten auf und enthalten *allgemeine Gestaltungsprinzipien für dynamische Darstellungsformen*. Zugleich wird deutlich, wie durch eine sinnvolle Kombination von „Veränderungseigenschaften“ und den graphischen Variablen z. B. Verstärkungseffekte erzielt werden können.

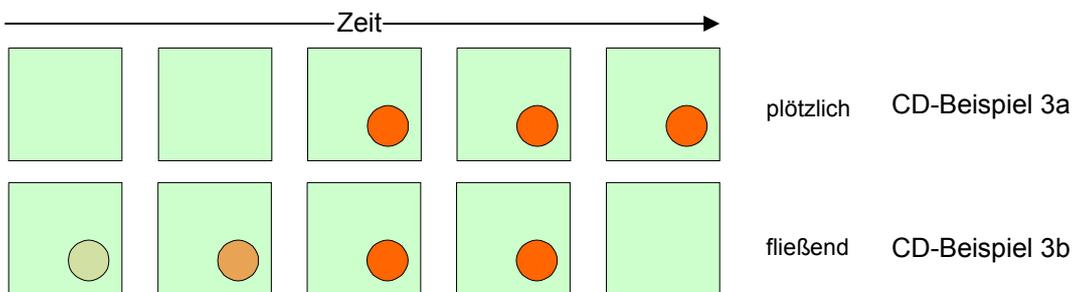


Abb. 5-6: Eintrittszeitpunkte von Veränderungen einer Signatur. Oben: plötzliches Eintreten. Unten: fließendes Eintreten (CD-Beispiel 3a/b)

Der **Eintrittszeitpunkt** zeigt den Beginn einer Veränderung an. Dies kann *abrupt* erfolgen, z. B. durch das *plötzliche Erscheinen* einer Signatur. Eine deutliche Aufmerksamkeitsreaktion kann die Folge sein. Alternativ kann die Veränderung jedoch auch durch eine Übergangsphase eingeleitet werden und *fließend* bzw. *kontinuierlich* erfolgen. Die sich ergebenden Veränderungen fügen sich in diesem Fall harmonisch in die Darstellung ein; der Aufmerksamkeitseffekt nimmt dadurch ab (Abb. 5-6, CD-Beispiel 3a/b).

Die **Dauer** von Elementveränderungen wirkt *ordnend* auf *Quantitäten*, wenn sie denselben Eintrittszeitpunkt besitzen. Diese Wirkung kann durch simultane Verwendung der graphischen Variablen *Größe*, *Helligkeit* und *Muster* zusätzlich unterstützt werden.

Bei unterschiedlichen Eintrittszeitpunkten nimmt die Wahrnehmung der Ordnung ab, da kein gemeinsamer Bezugszeitpunkt identifizierbar ist (CD-Beispiel 3d). Es ergibt sich dadurch die Vermittlung von *Quantitäten* als primäres Wahrnehmungsmerkmal (Abb. 5-7). Die **Reihenfolge** legt die Eintrittszeitpunkte von Veränderungen fest und wirkt *dadurch chronologisch ordnend*. Betrifft diese Veränderung *alle* Elemente einer Objektgruppe, so wird zusätzlich auch *nominal* gegliedert und die *visuelle Gruppierung* unterstützt (CD-Beispiel 3c, Abb. 5-7).

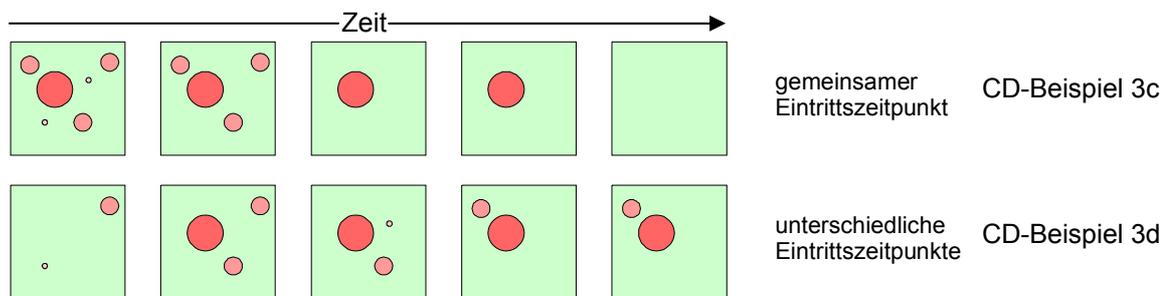


Abb. 5-7: Ein Beispiel für die Beeinflussung der Wahrnehmung der Dauer von Veränderungen durch Variation des Eintrittszeitpunktes einzelner Signaturen (CD-Beispiel 3c/d)

Die **Intensität** beschreibt relative Veränderungen bezogen auf eine Zeiteinheit. Dadurch werden *Quantitätsänderungen* ausgedrückt. Sie werden besonders deutlich sichtbar, wenn *identische Eintrittszeitpunkte* gewählt werden, da der *Intensitätsunterschied* verschiedener Elemente durch diese Art der *Synchronisation* zusätzlich verdeutlicht wird (Abb. 5-8, CD-Beispiel 3e/f).

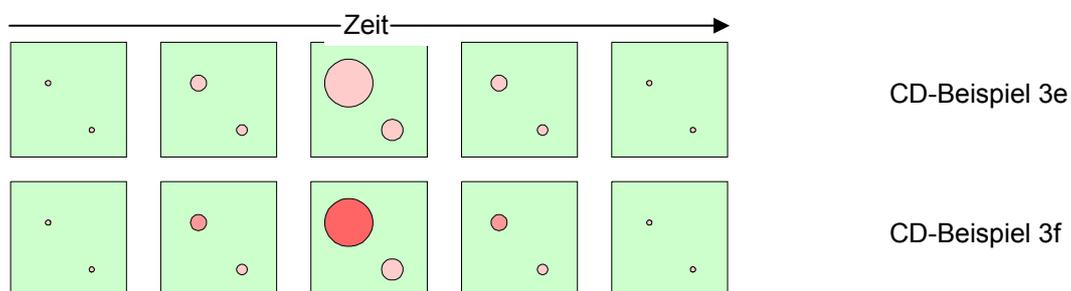


Abb. 5-8: Intensitätsveränderungen unterstützt durch Veränderung der graphischen Variablen *Größe* (oben) sowie *Größe* und *Helligkeit* (unten) (CD-Beispiel 3e/f)

Periodisch verlaufende Intensitätsänderungen, z. B. *Blinken*, sprechen besonders die *Aufmerksamkeit* an. Diese Funktion ist korreliert mit der Frequenz, wobei langsam verlauf-

fende Intensitätsänderungen einen geringeren Aufmerksamkeitsgrad aufweisen als höhere Frequenzen (Abb. 5-9).

Die **Frequenz** im Sinne von Veränderungen graphischer Variablen je Zeiteinheit wirkt *ordnend*, aber zusammen mit der Synchronisation auch *gruppenbildend* und daher *nominal*. Singulär angewendet auf ausgewählte Zeichenelemente kann sie als Aufmerksamkeitsaktivator eingesetzt werden (Abb. 5-9, CD-Beispiel 3g).

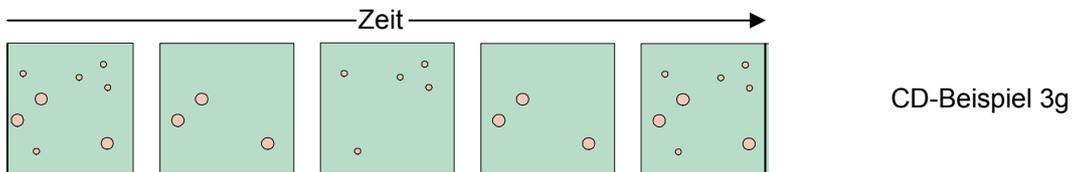


Abb. 5-9: Veränderungsfrequenz durch periodischen Wechsel von Eintrittszeitpunkt und Veränderungsdauer am Beispiel zweier Signaturengruppen. Es wird dadurch eine raum-zeitliche Gruppierung bewirkt (CD-Beispiel 3g).

Die noch verbleibende **Synchronisation** dient einerseits der Unterstützung von Gruppenbildung und Verstärkung. Es werden in diesem Falle synchronisiert zwei oder mehrere graphische Variablen verändert, z. B. Helligkeit und Größe von Signaturen. Andererseits ist die Synchronisation geeignet, um die Korrelation raum-zeitlich verlaufender Prozesse aufzuzeigen, z. B. durch simultane Veränderungen ausgewählter graphischer Variablen und Zeichenelemente.

#### 5.4.4.4 Vorschlag eines graphisch-temporalen Variablensystems für die Beschreibung statischer und dynamischer Darstellungsformen

Die Betrachtung ausgewählter Beispiele im vorherigen Abschnitt hat gezeigt, dass Veränderungseigenschaften mit den graphischen Variablen sinnvoll kombiniert werden können. In dynamischen kartographischen Ausdrucksformen können dadurch *zeitliche* Objekteigenschaften beschrieben werden. Darüber hinaus ist als zusätzliche Funktion die **Aufmerksamkeitssteuerung** identifiziert worden, die im Gegensatz zu statischen Karten zeitabhängig eingesetzt werden kann.

Die Kombination von Veränderungen und graphischen Variablen führt zu einer Wahrnehmungswirkungs-Matrix (Tab. 5-5). Die Einträge in den Matrixfeldern enthalten jeweils diejenigen Skalen, die sowohl von graphischen Variablen als auch von Veränderungseigenschaften bevorzugt angesprochen werden. Bei einer kombinierten Verwendung ergeben sich hypothetisch eine *Wirkungsverstärkung* und eine *zunehmende Prägnanz* der Darstellung eines raumzeitlichen Phänomens. Diese Annahme bedarf jedoch der zukünftigen experimentellen Untersuchung.

		Eigenschaften des Merkmals „Veränderung“					
		Zeitpunkt	Dauer	Folge	Intensität	Frequenz	Synchronisation
Graphische Variablen	3D-Raum						
	Größe		Ordinal Quantitativ Disassoziativ	Nominal Disassoziativ	Ordinal Disassoziativ	Nominal Disassoziativ	
	Farbe Helligkeit		Ordinal Quantitativ	Nominal	Ordinal	Nominal	
	Farbe Sättigung	Assoziativ	Ordinal Quantitativ		Ordinal		Assoziativ
	Farbton	Assoziativ	Disassoziativ	Nominal Disassoziativ	Disassoziativ	Nominal Disassoziativ	Assoziativ
	Füllung	Assoziativ	Ordinal		Ordinal		Assoziativ
	Orientierung	Assoziativ		Nominal		Nominal	Assoziativ
	Form	Assoziativ		Nominal		Nominal	Assoziativ

Tab. 5-5: Vorschläge für die Kombination graphischer Variablen und Veränderungseigenschaften zum Zwecke der Verstärkung ihrer Wahrnehmungswirkung

### 5.4.5 Die Erweiterung des kartographischen Zeichensystems um akustische Komponenten

#### 5.4.5.1 Einführung von akustischen Zeichen

Ziel der Betrachtungen dieses Abschnitts ist, die im Abschnitt 3.3.5 erörterten *psychoakustischen* Größen zur *Ergänzung* des kartographischen Zeichensystems heranzuziehen. Dabei sollen bereits publizierte Vorschläge berücksichtigt und dem hier vorgestellten Vorschlag kritisch gegenübergestellt werden.

Dieser Versuch der Integration von Geräuschqualität in das kartographische Zeichensystem orientiert sich zunächst an seinem dreistufigen Aufbau. So zeigt sich bei der Betrachtung der drei grundsätzlichen Arten der Schallempfindung, den **Klangfarben**, dass auch diese eine hierarchische Ordnung aufweisen und den graphischen Zeichenelementen zugeordnet werden können (vgl. Hake 1982, 3.3.5).

	Zeichensystem	
	Kartographisch	Akustisch
1. Stufe	<b>Graphische Elemente</b> (Punkt, Linie, Fläche, Volumen)	<b>Akustische Elemente</b> (Ton, Phonem)
2. Stufe	<b>Zusammengesetzte Zeichen</b> (Diagramm, Halbton, Schrift)	<b>Einfacher Klang</b> (Wort, Akkord)
3. Stufe	<b>Graphischen Gefüge</b>	<b>Komplexer Klang, Geräusch</b> (Sprache, Gesang, Musik)

Tab. 5-6: Vorschlag für ein kartographisch-akustisches Zeichensystem

Der *Ton* und das *Phonem* sind die kleinsten bedeutungstragenden Einheiten. In ihrer Eigenschaft als Klangelemente befinden sie sich auf einer Stufe mit den *graphischen*

*Elementen*. Sie sind die Bausteine von akustischen Elementen höherer Ordnung, die den zusammengesetzten graphischen Zeichen entsprechen. Zu ihnen gehören *einfache Klänge* und *Worte*. Die *komplexen Klänge* mit den Erscheinungsformen *Sprache*, *Gesang* und *Musik* sowie *künstliche* und *natürliche Geräusche* können auf eine Stufe gestellt werden mit den *graphischen Gefügen*.

#### 5.4.5.2 Einführung von akustischen Variablen

Für die Parametrisierung der akustischen Elemente stehen die **Tondimensionen** zur Verfügung, die ohne Einschränkung ihrer Bedeutung auch als *akustische Variablen* bezeichnet werden können (vgl. 3.3.5, 3.3.6). Sie können gleichgesetzt werden mit den *graphischen Variablen* des kartographischen Zeichensystems. In Tabelle 5-7 sind die Elemente zusammengeführt worden, so dass sich gleichsam ein *kartographisch-akustisches Zeichensystem* ergibt, das für *multimediale kartographische Anwendungen* genutzt werden kann.

<b>Variablen- äquivalenz</b>				
<b>Graphische Variablen</b>	<b>Akustische Variablen</b>	<b>Variablen- einflüsse</b>	<b>Variablen- wirkung</b>	<b>Variablen- verwendung</b>
Dimension	<b>Raumpositi- on</b>			Raumeindruck erzielen
Größe	<b>Lautheit</b>	Frequenz, Dauer	quantitativ, ordinal	Nähe/Ferne ver- anschaulichen
Farbe/ Helligkeit	<b>Tonhöhe</b>	Dauer	ordinal	Aufmerksamkeit, 4000 Hz Ton ist prägnant
Muster	<b>Klang</b>	Rauigkeit, Schär- fe, Lautheit	nominal	Atmosphäre, Auf- merksamkeit
Farbton/ Sättigung	<b>Schärfe</b>	Tonhöhe	nominal	Atmosphäre, Da- tenqualität
Richtung	<b>Schwankung sstärke</b>	Frequenz, Ton- höhe, Lautheit	quantitativ	Aufmerksamkeit, 4 Hz ist prägnant
Form	<b>Rhythmus</b>	Alle akust. Vari- ablen	ordinal	Periodizitäten, Aufmerksamkeit

Tab. 5-7: Vorschlag für ein kartographisch-akustisches Variablensystem. Die Matrix erläutert die maßgeblichen Einflüsse, Wirkungen und Anwendungen der akustischen Variablen. Ihnen sind die kartographischen Variablen zugeordnet. Als Zuordnungskriterium wurde die hierarchische Ordnung des graphischen und akustischen Systems zugrunde gelegt.

Die Parametrisierung der akustischen Elemente erfolgt durch die *Tondimensionen*, die vor allem in ihrer *psychologischen Qualität* interpretiert werden müssen und weniger in ihrer physikalischen Erscheinung. Ein Beispiel dafür ist die *Tonhöhe*, deren Wahrnehmung von der *Lautheit* und *Wahrnehmungsdauer* beeinflusst wird, obwohl sich die physikalische Tonfrequenz nicht ändert. Ähnliches gilt für die *Lautheit*, die als psychologische Größe von dem physikalischen Schalldruck (Lautstärke) und dem Frequenzspektrum abhängt (vgl. 3.3.5). Bei der Festlegung der Tondimensionen ist dieser Sachverhalt berücksichtigt worden, so dass sie als psychologische Größen prädestiniert sind für die

Ergänzung der graphischen Variablen (Tabelle 5-3). Zusätzlich eingeführt worden ist die *Raumposition* von akustischen Zeichen, die analog zum 3D-Raum die Lage von Tonquellen im Raum beschreibt.

Ein früherer Vorschlag zur Festlegung akustischer Variablen stammt von *Krygier* (1994). *Krygier* führt als *separates System* die Variablen *Location* (Raumposition), *Loudness* (Lautstärke), *Pitch* (Tonhöhe), *Timbre* (Klang, Schärfe, Rhythmus), *Rate of Change* (Schwankungsstärke) und *Duration* (Dauer) an, die mit dem obigen Vorschlag identisch sind. Zusätzlich benennt er *Register*, *Order* und *Attack/Decay*. Es sind Größen, die von der *Wahrnehmungsdauer* abhängen und die sich aufgrund der zeitlichen Veränderung der Akustik ergeben. Sie sind daher *Merkmale* der akustischen Zeichen und keine Variablen.

Im Vergleich zu dem hohem Abstraktionsgrad graphischer Kartenzeichen, der primär auf die sachliche Informationsvermittlung ausgerichtet ist, birgt die Verwendung von Akustik in multimedialen Karten zusätzlich zur Sachinformationsvermittlung die Möglichkeit zur Schaffung einer *akustischen Wahrnehmungsatmosphäre*. Sie kann sich positiv auf die im Umgang mit KIS entstehende Lernsituation auswirken. Daher muss bei der akustischen KIS-Gestaltung die wahrnehmungspsychologische Wirkung akustischer Zeichenelemente berücksichtigt werden. Allgemeine gestalterische Hinweise dafür sind bereits in Abschnitt 3.3.6 gegeben worden. Die Auswirkungen auf den Erwerb von Geowissen bzw. der Tertiärmodellbildung müssen noch experimentell nachgewiesen werden, so dass in diesem Punkt noch weiterer kartographischer Forschungsbedarf besteht (vgl. Fairbairn u. a. 2000).

#### **5.4.6 Auswirkungen und Anwendungsprinzipien des erweiterten kartographischen Zeichensystems**

Die in den vorhergehenden Abschnitten vorgeschlagene Erweiterung überführt das herkömmliche kartographische Zeichensystem in ein neues **multimediales kartographisches Zeichensystem**, das für die Parametrisierung neuartiger Ausdrucksformen genutzt werden kann (Abb. 5-10). Diese Ergänzungen führen zu neuen Elementen auf der dritten Stufe des Zeichensystems, die durch einen hohen Komplexitätsgrad gekennzeichnet sind und auch eigenständig für die Kommunikation von Geoinformationen verwendet werden können (vgl. Tab. 5-6). Zu ihnen zählen *komplexe Gefüge* wie *Photographien*, *Filme*, *Videsequenzen*, *Animationen* und *interaktive Ausdrucksformen*. Des Weiteren kommen hinzu spezielle Formen des textuellen Ausdrucks, z. B. *Tabellen* und *Textpassagen* (in Wort und Schrift), die zusammenfassende, erläuternde oder anweisende Funktion haben können. Sie können den komplexen Gefügen zugeordnet werden und zu ihrer Erläuterung beitragen.

Als Folge dieser Erweiterungen steigen die gestalterischen Anforderungen erheblich. So gelten für Photographien, Filme und Animationen z. T. eigene Gestaltungsregeln, die oftmals nur den Fachexperten bekannt sind oder dem subjektiven ästhetischen Empfinden unterliegen. Die *allgemeinen Grundlagen* dafür sind bereits ausreichend in den theoretisch-psychologischen Teilen dieser Arbeit beschrieben worden (siehe Kapitel 2, 3, 4). *Spezielle Gestaltungsprinzipien* für die Medienverwendung finden sich z. B. bei *Hasebrook* (1995), *Weidenmann* (1994/95), *Issing* u. *Klimsa* (1994) sowie *Stankowski* und

Duschek (1989). Sie äußern sich vorwiegend zu funktionalen Aspekten der einzelnen Medien und ausgewählten Kombinationen.

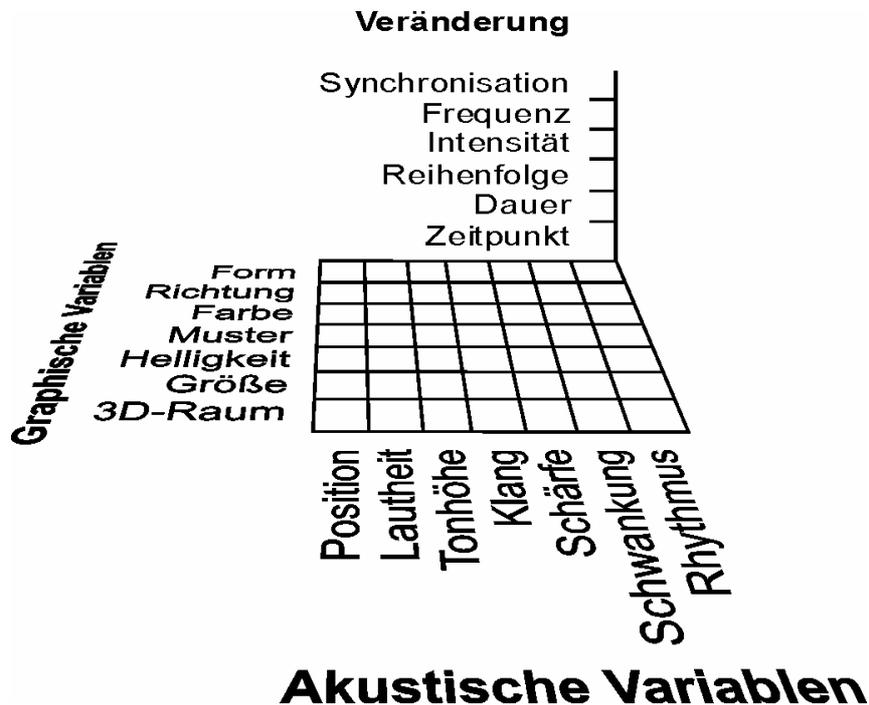


Abb. 5-10: Der Gestaltungsraum des multimediaalen Zeichen- und Variablensystems  
 Aus kartographischer Motivation befassen sich mit der Verwendung von *multimedialen Ausdrucksformen* z. B. Borchert (1996), Dransch (1997b), Cartwright u. a. (1999) und Heidmann (1999). Heidmann (1999) liefert eine umfassende Diskussion zur Terminologie von Multimedia und Hypermedia, während vorwiegend technische Aspekte von Cartwright (1994, 1997, 1999) diskutiert werden.

Die Berücksichtigung neuer Ausdrucksformen in der kartographischen Gestaltung bleibt nicht ohne Rückwirkungen auf die Semantik der Elemente des hier eingeführten multimediaalen Zeichensystems. Allein beim Übergang von der XY-Zeichenebene auf den 3D-Raum ändert z. B. die Variable "Größe" ihre Wirkung, da sie perspektivisch beeinflusst wird. Ähnliches gilt für die Variable "Helligkeit", die einerseits Quantitäten vermittelt aber auch zugleich Trägerin des Raumeindrucks sein kann.

Besonders in dieser Hinsicht sind experimentelle Untersuchungen dringend erforderlich, da perspektivische Ausdrucksformen bereits einen operationellen Entwicklungsstand erreicht haben (z. B. Buziek 1994, Hurni, Sieber, Bär 1999, Zanini 1996, Buziek u. Döllner 1999). Zugleich ist festzustellen, dass perspektivische, multimediale und animierte Ausdrucksformen eher marginal und noch nicht in der erforderlichen Tiefe untersucht worden sind (Grohmann 1975, Sieber 1996, Kraak 1988).

Der hier vorgestellte Ansatz mag daher als erster Schritt zu betrachten sein, um zukünftigen Untersuchungen eine erste theoretische Basis zu geben. Dazu ergänzend werden nachfolgend Prinzipien aufgeführt, die als Hypothesen zu verstehen sind und mögliche Richtungen für weiterführende Forschung aufzeigen.

1. Das Kartographische Informationssystem (KIS) ist ein System, dessen Elemente die Zeichen und dessen Wechselbeziehungen die Zeichenrelationen sind. Bei Veränderungen durch Interaktion (Navigation, Darstellung, Inhalt) muss das System seine Identität bewahren, da andernfalls erneut ein Tertiärmodell mit hohem kognitivem Aufwand abgeleitet werden muss. Veränderungen jeglicher Form müssen daher für den Nutzer nachvollziehbar und transparent sein.
2. Bewegungen und Veränderungen im Modellraum sprechen die Aufmerksamkeit besonders an. Folge davon ist die selektive und damit sequentielle Wahrnehmung der betreffenden Objekte. Die sichere Perzeption von Bewegungsmerkmalen ist nur dann gewährleistet, wenn sie periodisch wiederholt werden, so dass der Benutzer sie selektieren und perzipieren kann. Ausnahme sind räumliche Prozesse, die durch diskrete Elemente veranschaulicht werden. Hier ist auf die Anwendbarkeit der Gestaltgesetze der räumlichen Nähe und des gemeinsamen Schicksals zu achten, die gewährleisten, dass die Elemente als ein zusammenhängendes raum-zeitliches System wahrgenommen werden.
3. Zeitliche Abläufe werden innerhalb eines Zeitfensters wahrgenommen, dessen Dimension der zeitlichen Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses entspricht (ca. 30 Sekunden). Sollen mehrere Prozesse wahrgenommen werden, so muss ihre Darbietungsfrequenz auf diesen Zeitraum aufgeteilt werden oder durch Wiederholung die selektive Wahrnehmung unterstützt werden.
4. Die Wahrnehmung ist u. a. begrenzt durch die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses. Bei der kombinierten Verwendung von Systemvariablen sollten diese daher gemeinsam das Objekt- oder Prozessmerkmal beschreiben. Die Halbwertszeit unterschiedlicher Modalitäten ist zu beachten.
5. Bei perspektivischen Darstellungen unterliegt die Objektgröße der perspektivischen Änderung. Die richtige Interpretation wird unterstützt, indem Maßstabsinformationen über räumliche Objekte bereitgestellt werden. Konstanzmechanismen (Farbe, Größe) beruhen z. T. auf Erfahrungen, die bei abstrakten Objekten erst gebildet werden müssen. Ist dies nicht der Fall, so können Fehlinterpretationen die Folge sein.
6. Die Verwendung von farbbezogenen graphischen Variablen ist bei perspektivischen Darstellungen eingeschränkt, da die Raumwirkung durch die Simulation von Licht und Schatten unterstützt wird. Auch hier müssen zunächst Erfahrungen zur Farbwahrnehmung gebildet werden, damit der Mechanismus der Farbkonstanz bei Änderungen der Helligkeit und Sättigung greifen kann.
7. Akustisch dargebotene Informationen müssen z. T. im Modellraum verortet und daher mit Objekten verknüpft werden. Veränderung und akustische Darstellung bedürfen daher der Synchronisation.
8. Akustische Elemente können die Wahrnehmungsatmosphäre prägen. Sie sind damit lernwirksam und besitzen eine nicht-rationale Dimension. Es sollte tendenziell eine angenehme akustische Atmosphäre geschaffen werden, damit ein hoher Lernerfolg erzielt werden kann.

## 5.5 Interaktion und Interaktivität von multimedialen KIS (MM-KIS)

### 5.5.1 Zu den Begriffen der Interaktion und Interaktivität

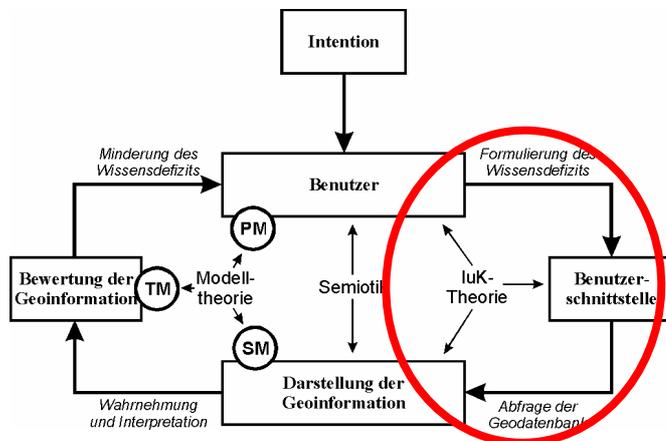


Abb. 5-13: Die Interaktion als systemtheoretische Wechselbeziehung zwischen Benutzer und dem kartographischen Informationssystem (KIS)

Das erweiterte kartographische Zeichensystem führt in seiner Anwendung zu "mehrschichtigen" KIS, deren Informationen aufgrund der hohen Informationsdichte auf "Abruf" verfügbar sind. **Interaktion** ist daher unverzichtbar. Es ist ein Kommunikationsprozess, bei dem die *Kommunikationspartner* in einer Wechselbeziehung miteinander stehen und sich gegenseitig beeinflussen (vgl. Haack 1995). Sie ist Ausdruck *aktiver Kommunikation*

im kartographischen Informationsverarbeitungssystem (vgl. Hake 1973, Hake u. Grünreich 1994, Barkowsky u. Freksa 1997). Eine erste generelle Unterscheidung der Interaktion kann anhand der *Kommunikationspartner* vorgenommen werden. Sie führt zu einer Differenzierung in die **Mensch-Mensch-** und die **Mensch-Maschine-Interaktion**, die gleichermaßen Struktur gebende Wechselbeziehungen im MM-KIVS sind (2.3.2). Eng mit der Interaktion verbunden ist der Begriff der **"Interaktivität"**. Er bezieht sich auf die *technischen Komponenten* des MM-KIS und bezeichnet die Eigenschaft einer Software, dem Nutzer *Eingriffs-* und *Steuermöglichkeiten* zu geben (Haack 1995). Die Interaktivität wird nach Haack (1995) skaliert von *gering* bis *hoch* (vgl. Tab. 5-8).

Stufe	Interaktivitätsmerkmal
1 (gering)	Passives Rezipieren, Lesen, Zuhören und Anschauen
2	Auswählen von und Zugreifen auf bestimmte Informationen
3	Verzweigen auf bestimmte Zusatzinformationen
4	Markieren von bestimmten Informationsteilen
5	Freier Eintrag von Antworten mit Feedback
6 (hoch)	Freier ungebundener Dialog

Tab. 5-8: Klassifikation der Interaktivität nach Haack (1995)

Für kartographische Fragestellungen sind die ersten 4 Interaktivitätsarten von Wichtigkeit, während die Positionen 5 und 6 eher für allgemeine Lernsysteme bedeutsam sind.

### 5.5.2 Die Mensch-Mensch Interaktion

Im kartographischen IVS tritt die **Mensch-Mensch-Interaktion** im gesamten Verlauf der Informationsverarbeitung auf. Es sind weitgehend *natürliche* und *dialogische Kommunikationsprozesse*, die im Dienste des fachlichen Gedankenaustausches stehen (vgl.

2.3.2.3). Sie können *direkt*, z. B. in Form von Diskussionen und Gesprächen, oder *indirekt* mit Unterstützung durch Kommunikationstechnologie (vgl. 5.2.2.6) stattfinden.

Ein Beispiel für die kartographisch unterstützte *Mensch-Mensch-Interaktion* sind Partizipationsprozesse, wie sie in der Stadt- oder Landschaftsplanung auftreten. Im Rahmen dieser Prozesse werden kartographische Ausdrucksformen benötigt, um mit ihrer Hilfe die Beteiligten über Inhalte und Alternativen eines Planungsvorhabens zu informieren (vgl. ARL 1991). Das KIVS besteht in diesem Fall aus einem KIS, den Planern (in ihrer Eigenschaft als Experten und erläuternde "Systemkomponenten") und der Teilnehmergemeinschaft als Gruppe von Adressaten. Das Ziel der Interaktion ist aus Sicht der Informationsverarbeitung, bei allen Teilnehmern der Teilnehmergemeinschaft *weitgehend identische* Tertiärmodelle der Umwelt mittels kartographischen Ausdrucksformen zu erzeugen, die dann als gemeinsame Basis für die weitere Diskussion des Planungsvorhabens dienen.

Nicht immer erfüllen traditionelle Planungskarten aufgrund inhaltlicher und darstellerischer Probleme diese Modellvorstellung (Moll in ARL 1991). Darüber hinaus werden Karten in Planungsprozessen oft als zu komplex und schwer überschaubar empfunden (Fürst, Scholles 1999). Die neuen Möglichkeiten der IuK-Technologie (5.2.2) versprechen hier eine Lösung, die zur Entwicklung von *Multimedia Spatial Decision Support Systems* (MSDSS) geführt haben (Shiffer 1996).

Vor diesem Hintergrund ist im Rahmen dieser Arbeit ein Softwaremodul implementiert worden, das sowohl als Ausdrucksmittel eines *multimedialen KIVS* (MM-KIVS) als auch eigenständig verwendet werden kann. Es unterstützt die Erfordernisse der Mensch-Mensch-Interaktion durch Interaktivität (Stufe 4 nach Tabelle 5-8) und Anschaulichkeit (6.3, vgl. Buziek u. Döllner 1999).

### **5.5.3 Die Mensch-Maschine Interaktion**

#### **5.5.3.1 Allgemeine Beschreibung und Bedeutung von Interaktivität im multimedialen kartographischen IVS**

Von größerer Bedeutung für den eigentlichen Betrieb des MM-KIVS ist die *Mensch-Maschine Interaktion*, da sie das Bindeglied zwischen den Systemkomponenten ist und zudem dem Einfluss der Gestaltung unterliegt. Sie ist damit eine Komponente, die sich in hohem Maße auf die Systemeffizienz und -ergonomie auswirkt. Miller (1999) betont zudem, dass der Erfolg eines Multimedia-Produktes primär von seiner Benutzungsoberfläche abhängt: Sie bietet dem Nutzer Zugang zur *Produkt-Funktionalität* und ermöglicht die *Navigation* und die *Darstellung des Inhalts*. In Verbindung mit der multimedialen Gestaltung eines kartographischen Produkts bietet sie zudem Vorteile für die Nutzer. Sie bestimmen selbst *Tempo*, *Dauer* und *Reihenfolge* des Zugriffs auf unterschiedliche Informationsdarstellungen. Dieses sog. *individualisierte Lernen* (Haack 1995) verhilft zu *mehr Prägnanz* in Verbindung mit einer *höheren Behaltensquote* (Bäumler 1991).

Im Gegensatz zur *natürlichen Interaktion* umfasst die Mensch-Maschine-Interaktion mehr die technischen und technologischen Aspekte und kann daher auch als *technische Interaktion* bezeichnet werden. Sie gewinnt durch die Verwendung von interaktiven Medien, wie z. B. der CD-ROM, der DVD und dem Internet, zunehmend an gestalterischer Bedeu-

tung (Cartwright 1999). Darüber hinaus ist sie für die kartographische Darstellung von Informationen in Kombination mit dem individuellen Informationszugriff und der Navigation im MM-KIS unverzichtbar: Die begrenzte Darstellungsfläche und die geringe Auflösung des Bildschirms schränkt die übersichtliche Vermittlung räumlicher Zusammenhänge stark ein, so dass eine gewisse Basisfunktionalität notwendig ist, um diesen Einschränkungen entgegenzuwirken. Die Benutzungsoberfläche stellt diese zur Verfügung.

Aus **semiotischer Sicht** betrachtet *Van der Schans* (1999) die Interaktion und stellt eine modellbezogene handlungsorientierte Theorie der Interaktion vor. Er bemerkt treffend, dass sich gegenwärtig in der Kartographie eine Entwicklung abzeichnet, die vom statischen und graphikbezogenen Zeichensystem *Bertins* zu einem *dynamikorientierten Zeichensystem* verläuft. Sein Kritikpunkt daran ist, dass *handlungsbezogene Aspekte* weitgehend außer Acht gelassen werden, so dass die semiotische Beschreibung der Interaktivität in kartographischen Ausdrucksformen weitgehend fehlt.

Dieser Kritik ist ohne Einschränkung zuzustimmen. Der moderne Kartograph ist bei der Gestaltung von bildschirmorientierten kartographischen Ausdrucksformen auch zwingend mit dem Entwurf einer Benutzungsoberfläche – z. B. für GIS-Applikationen, Auskunftssystemen auf CD-ROM und im Internet, Multimedia-Atlanten – beschäftigt, und Autorensysteme stellen die Gestaltungsfunktionalität dafür bereits bereit (Cartwright 1994). In einigen Fachpublikationen wurde dieser Aspekt vorwiegend für Einzelthemen aufgegriffen (z. B. Monmonier 1990, Dorling 1992, Lindholm u. Sarjakoski 1994, Kraak u. a. 1997, Kuhn 1996); *eine grundlegende Theorie und kartographiebezogene Gestaltungshinweise fehlen jedoch bislang*.

Darüber hinaus ist festzustellen, dass insbesondere GIS- und Auskunftssystemsoftware die ergonomische Gestaltung von Benutzungsoberflächen nicht sonderlich unterstützen und bestenfalls die Anordnung unterschiedlicher Bedienelemente in vertikalen oder horizontalen Menüleisten sowie Ein- und Ausgabemasken gestatten. Erst die Entwicklung des Internetdienstes WWW und verschiedener Autorensysteme für die Implementierung von CD-ROM-Anwendungen gestatten eine intuitive und ergonomische Gestaltung von Benutzungsoberflächen, die frei ist von vorgegebenen technischen Anordnungen und Restriktionen (Freibichler 1995).

Im Gegensatz zur traditionellen Erschließung einer Karte mit den Hilfsmitteln und Methoden der Kartometrie müssen im Zuge der digitalen Kartenbereitstellung nunmehr die kartometrischen Hilfsmittel in Form von Softwarefunktionen in die Ausdrucksform integriert und über die Benutzungsoberfläche zugänglich gemacht werden. *Die Effizienz eines MM-KIS ist somit nicht ausschließlich von der graphischen Gestaltung abhängig, sondern auch von der Bedienbarkeit der Benutzungsoberfläche und ihrer Strukturierung*. Die Grundzüge ihrer Gestaltung und die Verwendung geeigneter Metaphern dafür sollten daher zukünftig eine Teilmenge kartographischen Wissens sein. Die nachfolgenden Abschnitte sollen eine Grundlage dafür schaffen.

### **5.5.3.2 Allgemeine Anforderungen und Merkmale der Interaktivität**

Nach *Klimsa* (1995) müssen interaktive Systeme die folgenden Anforderungen erfüllen: Sie sollen dem Nutzer **Orientierung** im System gewähren und **Kontrolle** über die *Navi-*

gation und *Informationsentnahme* ermöglichen. Des Weiteren wird die Unterstützung von **Exploration** und **Lösung konkreter Aufgabenstellungen** gefordert. Zudem muss jederzeit **Hilfe** verfügbar sein.

Auf der Basis dieser Grundfunktionen unterstützt die Interaktivität individuelle *Lernpräferenzen* und *Lerngewohnheiten* (Weidenmann 1995). Zugang zu den Informationen wird den Nutzern über *Benutzeroberflächen* (User Interface, Menü) ermöglicht (z. B. Galitz 1997, Norman 1991).

Für eine effiziente Systembedienung muss die Benutzeroberfläche stets diejenigen Funktionen und Methoden bereitstellen, die der Nutzer für bestimmte Zwecke benötigt. I. d. R. erfolgt dazu eine Klassifizierung und Gruppierung des Oberflächeninventars in semantische Gruppen, so dass der Nutzer Funktionen schnell auffinden und wählen kann. Die Systemeffizienz ist damit einerseits eine Funktion der Oberflächengestaltung und -strukturierung, und andererseits der Fähigkeit des Nutzers Methoden zum Wissenserwerb anzuwenden.

Zum letztgenannten Punkt werden von *Haack* (1995), *Tergan* (1995) und *Norman* (1991) insgesamt **sechs unterschiedliche Arten der Interaktivität** festgestellt:

1. *Scanning*: Mit Scanning wird die meist oberflächliche Perzeption einer großen Informationsmenge bezeichnet. Ziele sind die Verschaffung eines Überblicks oder die schnelle Ziel-Identifikation durch die Wiedererkennung von Charakteristika.
2. *Searching*: Mit Searching wird die zielgerichtete Suche bezeichnet, bei der der Nutzer z. B. Suchalgorithmen benutzt und seine Fragestellung klar formulieren kann.
3. *Browsing*: Browsing umfasst die *gerichtete* und die *ungerichtete* Suche nach Informationen. Bei der zielgerichteten Suche orientiert sich der Nutzer an den jeweils dargebotenen Informationen und ihrer Bedeutung und führt in diesem Zusammenhang jeweils eine Informationsbewertung durch. Bei der ungerichteten Suche ist kein klares Lernbedürfnis erkennbar. Sie erfolgt assoziativ auf Grundlage des jeweiligen Informationsdargebots. Der Wissenserwerb kann beiläufig, durch implizites Lernen erfolgen.
4. *Pfade*: Bei der pfadbezogenen Suche leiten fest verknüpfte Informationen den Nutzer. Diese Methode wird auch als *externe Navigation* bezeichnet (Tergan 1995). Sie ist in hohem Maße autorenkontrolliert. Im Gegensatz dazu läuft die *interne Navigation* ab, bei der der Benutzer selbständig Informationen herausfiltert und sie zur weiteren Navigation nutzt. *Zellweger* (zit. von Haack 1995) klassifiziert Pfade in *sequentielle Pfade* mit vorgegebener Reihenfolge und thematischer Ordnung, *verzweigte Pfade* mit Auswahlmöglichkeit und *bedingte Pfade*, die vom System aufgrund einer automatisierten Benutzeranalyse vorgeschlagen werden.
5. *Connecting*: Diese Art der Interaktivität lässt eine individuelle Veränderung der Relationen und Strukturen der technischen Systemkomponente zu. Sie kann damit zweckgerecht strukturiert werden und wird den Bedürfnissen und Fähigkeiten des Benutzers angepasst.
6. *Collecting*: Im Gegensatz zum Connecting, bei dem die Relationen zwischen Informationsdarstellungsformen geändert werden, werden beim Collecting Teile des Systeminhalts restrukturiert. Dies kann auch eine Veränderung der Informationseinheiten und ihrer Darstellungsformen bedeuten.

Im Hinblick auf einen möglichst effizienten Informationserwerb im Umgang mit einem multimedialen kartographischen Informationssystem ist die alleinige Berücksichtigung der zuvor erläuterten Interaktivitätsarten nicht ausreichend. Einflüsse gehen zusätzlich aus von den zu lösenden *Aufgabenstellungen* einerseits und ausgewählten *Nutzermerkmalen* andererseits.

### 5.5.3.3 Die Interaktion im Wechselspiel von Aufgabenstellungen, Nutzermerkmalen und Suchstrategien

Die **Effizienz eines interaktiven Systems** hängt maßgeblich davon ab, ob seine Interaktivitäts- und Darstellungselemente den zu lösenden Aufgaben angepasst sind. Aufgabenspezifische Effizienzuntersuchungen bedingen daher die Klassifikation von Aufgabentypen. Vor diesem Hintergrund hat *Norman* (1991) zwei maßgebliche Aufgabentypen identifiziert.

1. *Einfach - schwierig*: Einfache Aufgaben erfordern nur *geringe Interaktionen* zu ihrer Lösung, während schwierige Aufgaben *umfangreiche Lösungsschritte* benötigen. Die Informationseffizienz hängt in diesen Fällen von der Qualität der Anforderungsanalyse ab und der Systemfunktionalität.
2. *Strukturiert - unstrukturiert*: Die Lösung strukturierter Aufgaben bedingt eine feste Strategie, während unstrukturierte Aufgaben Kreativität auf Seiten des Nutzers und ein Höchstmaß an Flexibilität auf Seiten der technischen Systemkomponente bedingen.

Ein weiterer Einfluss geht von der Situation aus in der die Mensch-Maschine-Interaktion ausgeübt wird. *Zeitkritische Situationen* haben einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Psychologie des Benutzers. Sie stellen daher besondere Gestaltungsanforderungen einerseits, verzerren aber auch die Bewertung der Systemeffizienz. Darüber hinaus muss die *pragmatische Dimension* der Systembedienung berücksichtigt werden. So kann z. B. die Systemnutzung Auswirkungen auf die Umwelt haben und z. B. zur Umsetzung von Planungen erfolgen. Aufgrund der Aufgabenbedeutung ist die kognitive Belastung des Nutzers im Vergleich zu Aufgabenlösungen mit lediglich interner Auswirkung recht hoch. Auch hier wird die Effizienz des Gesamtsystems dadurch beeinträchtigt.

*Norman* (1991) schlägt vor, den Nutzer als Teil des gesamten Informationssystems zu betrachten, da er eine aktive Komponente der Informationsverarbeitung im Gesamtsystem ist (vgl. 2.3.2.2). Aus nutzerzentrischer Sicht ist daher der Umkehrschluss, dass die technische Systemkomponente zu einer Erweiterung der Nutzerfähigkeiten - wie z. B. Informationsverarbeitung, Wissensspeicherung und Kommunikationsfähigkeit - führt (vgl. Kap. 3/4). Die *nutzerseitige Informationsverarbeitung* wird in diesem System von drei wesentlichen Merkmalen beeinflusst. Es sind

1. *Wissen*: Es umfasst die Kenntnisse des Nutzers über das System selbst, über das Aufgabengebiet, über die Modellierung des digitalen Sekundärmodells des Aufgabefeldes und über die Bedienung des Rechners (vgl. Kap. 4).
2. *Kognition*: Sie umfasst die individuell ausgeprägten Fähigkeiten Probleme zu lösen, Entscheidungen zu treffen und Schlüsse zu ziehen (vgl. Kap. 4).

3. *Weitere Fähigkeiten:* Benutzer weisen unterschiedliche Fertigkeiten und Geschicklichkeiten auf. Sie können motorischer und künstlerischer Art sein und sich z. B. im Bedienungsgeschick technischer Systeme, von Softwareprodukten, der Anfertigung von Entwürfen, Strukturen usw. zeigen. Sie sind abhängig von Begabungen aber auch vom Training. Sie ändern sich daher über die Zeit.

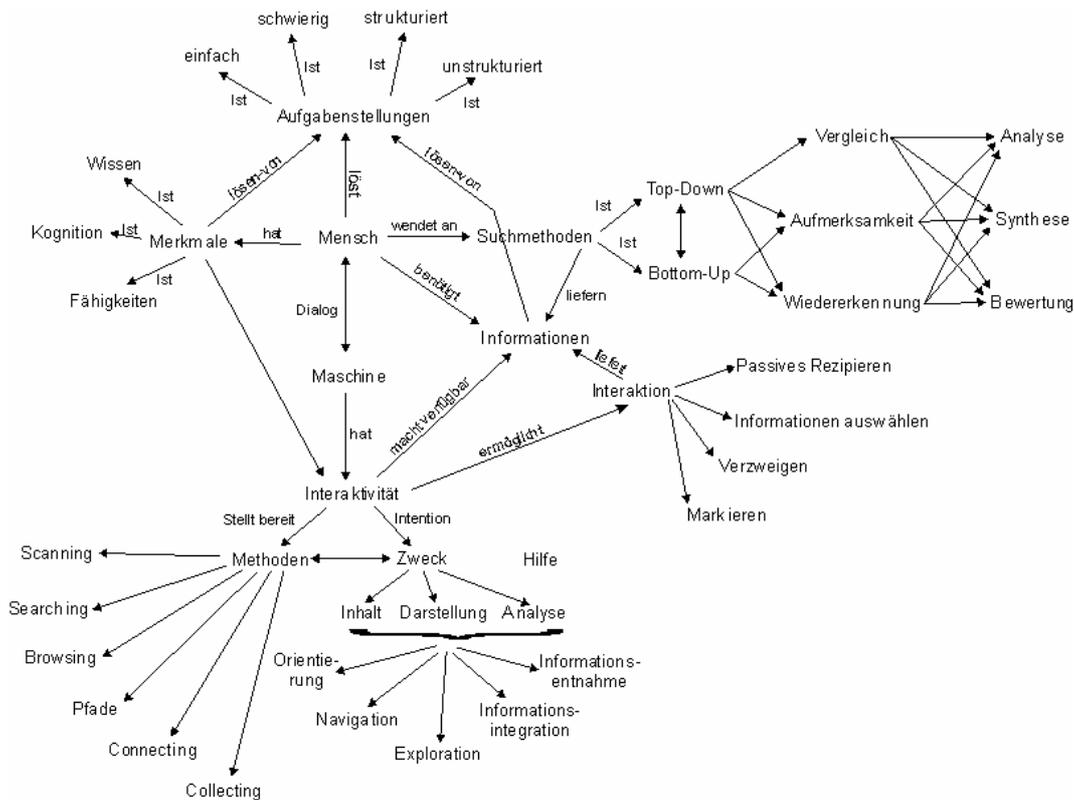


Abb. 5-11: Wechselwirkungen der Interaktion im allgemeinen Informationsverarbeitungssystem (IVS)

(Nach der Methode der semantischen Netze repräsentieren Knoten Konzepte und bewertete Kanten semantische Assoziationsbeziehungen zwischen den Knoten. Ungerichtete Kanten (——) zeigen Wechselbeziehungen an und gerichtete Kanten (————>) verdeutlichen Hierarchien,

Im Gesamtsystem setzt der Benutzer seine Fähigkeiten zur Lösung von Aufgaben ein, die auch das Lesen und Interpretieren von kartographischen Ausdrucksformen umfassen. Wichtige Komponenten sind dabei *Suchstrategien*, die von *Norman* (1991) mit Bezug zu allgemeinen und von *Lloyd* (1997) zu räumlichen Aufgabenstellungen diskutiert werden. *Lloyd* (1997) unterscheidet analog zum Wahrnehmungsprozess nach *Zimbardo* (vgl. Kap. 4) in *Top-Down-* und *Bottom-Up-Strategien*. Sie ergänzen einander durch ein Wechselspiel aus *Wiedererkennung*, *Vergleich*, *Analyse*, *Informationsinterpretation* und *-bewertung*. Sie sind verbunden durch fließende Übergänge und Wechselwirkungen im Suchprozess. Die Zusammenhänge sind in einem allgemeinen interaktiven Mensch-Maschine-System als semantisches Netz dargestellt und werden nachfolgend erläutert (Abb. 5-11).

Suchstrategien laufen *heuristisch* und *strategisch* ab (*Norman* 1991). Sie basieren auf einem Netzwerk von menschlichen Fähigkeiten, Aufgabenstellungen, Informationen zur

Problemlösung - und mit Bezug zum KIVS - der Einbindung des KIS durch Interaktion. Letztere führt dem menschlichen Informationsverarbeitungssystem Informationen zu und die Interaktivität des KIS stellt Methoden zur Informationssuche und -entnahme bereit. Die Auswahl der Methoden hängt von der Zielsetzung (Zweck) ab, so dass sich unterschiedliche Interaktivitätsarten ergeben (Informationsentnahme, -integration, Exploration, Navigation, Orientierung und Hilfe).

Ihre Übertragung auf ein MM-KIS (multimediales KIS) führt zu Konzepten der kartographischen Interaktivität (vgl. Kuhn 1996, Cartwright 1997). Unter Berücksichtigung des Ansatzes von *Van der Schans* (1999) kann zur Konkretisierung der Interaktivität auch *modellbezogen* vorgegangen werden. Demnach richtet sich die Interaktion *nach den zu lösenden Aufgaben, die durch in der Umwelt vorzunehmenden Handlungen* bestimmt werden, z. B. Umwelt-, Bauwerks- oder Trassenplanungen. Sie stehen im Zusammenhang mit Operationen, die auf das digitale Landschaftsmodell bezogen sind und mit *GIS-Funktionalität* gleichgesetzt werden können (z. B. Attributabfragen, Objektselektion, Flächenverschneidungen). Die *Karten-Metapher* (vgl. Kuhn 1996, Cartwright 1997) beschreibt die auf das Sekundärmodell der Umwelt bezogenen Handlungen (z. B. Skalierung, Verschiebung, Ein- und Ausblenden, Superimposition, digitale Kartometrie (Buziek 1994)). Aus gestalterischer Sicht muss im Hinblick auf ein optimales und effizientes KIVS gelöst werden, wie die Methoden der Interaktivität generell dem Nutzer verfügbar gemacht werden können. Aus anwendungsorientierter Sicht und auch aus Sicht der Wahrnehmung ergeben sich dafür *drei wesentliche Aspekte* der Interaktivität (Interaktivitätskategorien), die als Gestaltungsgrundlage herangezogen werden können (Abb. 5-12). Es sind:

1. **Inhaltsbezogene Interaktivität:** Mit Funktionen der inhaltsbezogenen Interaktivität wird die Darstellung des Inhalts vom MM-KIS beeinflusst. Dies ist häufig gekoppelt mit Zugriffen auf das zugrunde liegende Datenmodell.
2. **Darstellungsbezogene Interaktivität:** Mit den Funktionen dieser Gruppe können Darstellungs- und Ausdrucksformen des MM-KIS beeinflusst werden. Diese Funktionen beziehen sich einerseits auf die Veränderung der Projektionsart, und bei unechten 3D-Abbildungen auch auf die Navigation und Orientierung im Sekundärmodellraum. Darüber hinaus sind dieser Gruppe Funktionen zuzuordnen, die verändernd auf die kartographische Darstellung wirken, den Inhalt jedoch unverändert lassen. Die bildflächenbezogenen Operationen nach *van der Schans* (1999) gehören in diese Gruppe.
3. **Analytische Interaktivität:** Bei ihr dient das kartographische Sekundärmodell der Umwelt z. B. als Interface zu den Daten des digitalen Landschaftsmodells oder dem digitalen Fachdatenmodell (vgl. Kuhn 1996). Die Benutzeroberfläche selbst kann genutzt werden für die Bereitstellung von Funktionen, die sich auch bei dem Gebrauch einer herkömmlichen Karte ergeben, z. B. das Messen von Entfernungen, die Ermittlung von Flächen und die Entnahme von Höhen. Es kommt folglich eine *kartometrische Funktionalität* hinzu, die zu dem Konzept der *digitalen Kartometrie* führt und der *abfrageorientierten Interaktion (Analyse)* zuzuordnen ist (Buziek 1994, Buziek u. Döllner 1999).

Mit diesen Überlegungen ist zunächst auf einer hohen Abstraktionsebene die Interaktivität in einem allgemeinen KIS modelliert worden. Offen geblieben ist bislang die Beantwortung der Frage, welche Gestaltungsprinzipien anzuwenden sind, damit die Systeminteraktivität auch effizient genutzt werden kann.

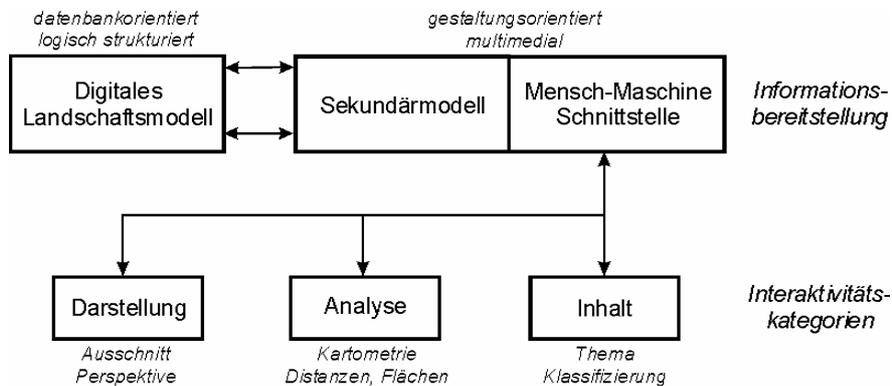


Abb. 5-12: Kategorien und Wechselbeziehungen der sekundärmodellbezogenen Interaktion

## 5.5.4 Gestalterische Aspekte der kartographischen Interaktion

### 5.5.4.1 Gestaltungsprinzipien

Das Studium ausgewählter Fachliteratur hat gezeigt, dass keine „Variablen der Interaktion“ - etwa vergleichbar mit den *Bertin'schen* graphischen Variablen – existieren, die zur Beschreibung der Interaktivität eines MM-KIS genutzt werden können (z. B., Hackos u. Redish 1998, Hofer u. Zimmermann 1998, Mandel 1997, Galitz 1997, Cooper 1995, Norman 1991). Es sind jedoch *allgemeine Gestaltungsprinzipien* verfügbar, die auch kartographisch genutzt werden können.

Sie beruhen auf den Grundlagen der *Sinnesphysiologie* und *-psychologie* sowie der *Kommunikation* (vgl. Kapitel 3/4). Beispiele dafür geben *Hofer* und *Zimmermann* (1998) oder *Mandel* (1997).

*Hofer* und *Zimmermann* (1998) betrachten insbesondere aus der Sicht des Internetdesigns die Benutzungsoberflächengestaltung, die auf das *typische Nutzerverhalten* abgestimmt werden muss. Es ist bei Internetnutzern charakterisiert durch sehr schnelle Zugriffszeiten und eine kurze Verweil- oder Nutzungsdauer, die generell auch der Kommunikationseffizienz zuträglich sind, so dass diese Sichtweise auch für die Gestaltung von MM-KIS genutzt werden kann. Insgesamt identifizieren *Hofer* und *Zimmermann* (1998) *fünf Kernprobleme*, die durch eine entsprechende Gestaltung gelöst werden müssen. Es sind:

1. Problem der **kommunikativen Akzeptanz**. Der Benutzer muss gewillt sein, eine Kommunikationsbeziehung mit dem MM-KIS einzugehen. Er muss von Kommunikationsbeginn an erkennen können, ob für ihn *verwertbare Informationen* vorhanden sind oder nicht. Das Risiko des Abrufs wertloser Informationen sollte vermieden wer-

den. Dies kann erreicht werden durch eine *eindeutige* und *verständliche* Darbietung der Menüinhalte. Zusätzlich interessieren die *Aktualität* der Informationen und der *Zeitaufwand* (Merkmale der Informationsqualität). Ein hoher Zeitaufwand ist nur gerechtfertigt, wenn es sich für den Benutzer um besonders wichtige Informationen handelt. Bedeutsam ist daher die Vermittlung eines Zeitgefühls. Vor diesem Hintergrund sollte die Gestaltung *einfach* und *klar* gehalten sein und zudem bei zeitkritischen Aktionen Informationen über die voraussichtliche Aktionsdauer bereitstellen.

2. Problem der **Informationskodierung**. Die zu kommunizierenden Informationen müssen in der *Sprache der Zielgruppe* formuliert sein. Für die Vermittlung kartographisch aufbereiteter Informationen ist es z. B. unumgänglich, den Benutzer mit Hilfe einer Legende den *Zeichenschlüssel* zu erläutern, da nicht grundsätzlich vorausgesetzt werden kann, dass Kenntnisse darüber existieren. Zusätzlich muss entschieden werden, welche weiteren Medien für die *Informationsübertragung* geeignet sind, z. B. Text für abstrakte Sachverhalte, Graphik für räumliche Bezüge, Bilder für Realweltdarstellungen, kinematographische Animationen für die Darstellung temporaler Zusammenhänge oder Ton als zusätzliches Hilfsmittel der Gestaltung (vgl. Hasebrook 1995). Alle Elemente sollten kommunizieren, d. h. eine *eindeutige* Nachricht signalisieren. Elemente, die zu Dekorationszwecken verwendet werden, dürfen die Kommunikationsfunktion nicht stören.
3. Problem der **sozialen Koordination**. Der Benutzer sollte sich individuell angesprochen fühlen. Stil, Ton und das optische Ambiente sind ausschlaggebend. Insbesondere kommt dieser Aspekt bei der Formulierung von Textinformationen zum Tragen. Hierbei ist z. B. besonders zu beachten, ob Schrift im Menü oder inhaltlicher Text an Laiennutzer gerichtet sind oder an sachverständige Experten. Diese allgemeinen Designprinzipien können jedoch nur mit gewissen Einschränkungen auf die kartographische Gestaltung übertragen werden, da bei IS im Internet häufig eine sehr breite Zielgruppe angesprochen wird.
4. Problem der **Belohnung**. Die Benutzung einer interaktiven multimedialen Darstellung muss für den Benutzer *lohnenswert* sein. Es folgt auf die Lösung von Problem 1 und führt zu der Forderung, dass dem Benutzer möglichst frühzeitig das *Informationsangebot transparent* dargeboten wird. Im Vergleich mit traditionellen Karten ist die simultane Informationsdarstellung im MM-KIS jedoch wegen der Gefahr der graphischer Überfrachtung oder Reizüberflutung nicht möglich.
5. Problem der **Entwicklung** und des **Aufbaus**. Im Zuge einer Anwenderrecherche sollte auch berücksichtigt werden, ob die Informationen nur *kurzfristig* verfügbar sein sollen, oder ob eine gewisse *Nachhaltigkeit* erzielt werden soll. Hilfestellung für die Gestaltung liefert hier die Gedächtnistheorie (Kap. 4). Es ist daher darauf zu achten, dass die Elemente der Oberfläche zu *Sinneinheiten* zusammengefasst werden, so dass das während der Wahrnehmung stattfindende Gruppieren (Chunking) unterstützt wird. So besteht z. B. die Möglichkeit, aufgrund der *optischen Anordnung* in der Bildfläche die Elementgruppierung nach sachlichen, funktionalen oder logischen Merkmalen vorzunehmen, so dass der kognitive Gruppierungsaufwand minimiert

werden kann. Die *Gestaltgesetze* sollten beachtet werden. So ermöglicht das *Figur-Grund-Prinzip* die Gestaltbildung und fördert die Gruppierung (Kap. 3). Ergebnis ist eine *klare Gliederung* der Oberfläche mit zweckentsprechend gewählten Kategorien und sinnvoller Hierarchie. Der Nutzer kann sich *frühzeitig* und *schnell orientieren* und feststellen, ob sein Informationsbedürfnis befriedigt werden kann. Die Inhalte sollten daher möglichst *konkret* und *strukturiert* dargeboten werden. Dies trägt zur Lösung des Problems der Belohnung bei.

Ist die *nachhaltige* Informationsvermittlung beabsichtigt, z. B. über Planungen zum Verlauf einer geplanten Autobahntrasse, so ist darauf zu achten, dass der Benutzer *neue Informationen mit bereits vorhandenen Wissensinhalten assoziieren kann*. Im genannten Beispiel ist die deutliche Herausstellung naher Ortschaften (die den vor Ort lebenden Betroffenen bekannt sind) sinnvoll, da sie eine große Hilfe sind für die mentale Zuordnung der neuen Information über den Trassenverlauf zu der bekannten Landschaftsstruktur. Zusammenfassend ergeben sich folgende Gestaltungsprinzipien:

1. Durch *Titelangabe* und *Bildung von Gruppen* die inhaltliche Bewertung erleichtern und einen Wissensrahmen schaffen.
2. *Deutliche, eindeutige und konkrete Information* über Inhalte und Funktionalitäten bereitstellen.
3. Elemente der Informationsdarstellung *übersichtlich und sinnvoll gruppiert anordnen*.
4. *Nutzungshäufigkeit als Anordnungsmerkmal* für Funktionen heranziehen. Häufig benötigte Funktionen sollten schnell und einfach erreichbar sein.
5. *Zeitgefühl* für den Informationsabruf vermitteln.
6. *Darstellungselemente im Hinblick auf die Informationsvermittlung wählen* weniger für die Dekoration, und dadurch Störungen durch Ablenkung aufgrund unkontrollierbarer Assoziationen vermeiden.
7. Das Informationsdargebot ist auf die *Kommunikationsgewohnheiten* der Nutzergruppe abzustimmen.
8. Den Nutzer durch *Informations- und Funktionstransparenz* belohnen und seine Informationsverarbeitung durch Berücksichtigung der individuellen Wahrnehmungsgewohnheiten entlasten bzw. unterstützen, z. B. durch ein User-Profiling.
9. Für die nachhaltige Informationsvermittlung muss *Bezug zum Nutzerwissen* hergestellt werden. Die befristete Informationsvermittlung hingegen bedarf einer gewissen Dargebotspermanenz bis diskursives Wissen entstanden ist.

#### 5.5.4.2 Beispiele für Benutzungsoberflächen von multimedialen KIS

Abbildung 5-13 zeigt ein Beispiel für die Gestaltung der kartographischen Benutzungsoberfläche eines Auskunftssystems für die Verkehrsentwicklungsplanung (Emmerich 1999). Für die Benutzungsoberflächengestaltung können die Elemente der Menüleiste beliebig gruppiert und mit selbst generierten Piktogrammen (Icons, Ikonen) graphisch dargestellt werden. In Form einer Liste sind die Informationsebenen am linken Bildschirmrand dargestellt.

Nachteilig an dieser Gestaltung ist die Liste der Informationsebenen, die in langer Folge sequentiell aufgeführt wurden (linker Bildrand in Abb. 5-13). Hier wäre für den *schnellen*

*Überblick* - dem Browsing - die *Kategorienbildung* sinnvoll gewesen, ergänzt durch *prägnante Kategorientitel* (Wissensrahmen) und eine sinnfällige graphische Gestaltung der Schaltflächen (Buttons). In der hier dargestellten Form wird der Nutzer zunächst zum *Lesen* dieser Liste aufgefordert. Das Lesen ist ein *sequentieller* Top-Down-Prozess der kognitiven Informationsverarbeitung. Er kostet Zeit, da die Informationen *bewusst* verarbeitet werden müssen. Mechanismen der Wiedererkennung werden kaum angesprochen, da die Semantik der Listenelemente durch Schrift kodiert ist. Wiederholte Zugriffe auf die Liste werden daher nur unwesentlich beschleunigt ablaufen. Zudem sind Piktogramme in den Listenelementen enthalten, die *nicht selbsterklärend* sind. Die Hilfefunktion muss aktiviert werden, um diesbezügliches episodisches Wissens zu bilden. Dies ist nur lohnenswert, wenn eine wiederholte Benutzung beabsichtigt ist.

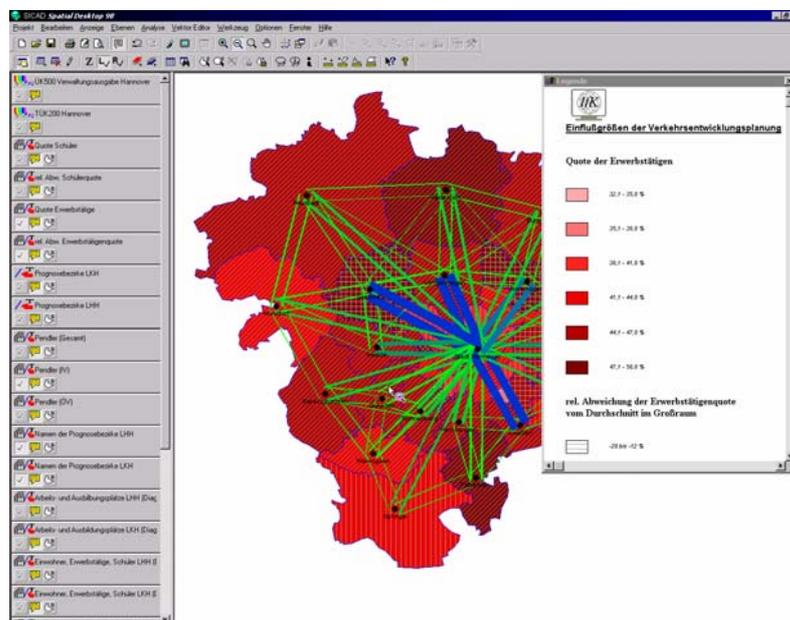


Abb. 5-13: Interaktive Darstellung von Verkehrsbeziehungen zwischen Gemeinden im Großraum Hannover.

Die Liste enthält mehr als die empfohlenen  $7 \pm 2$  Elemente, die gut vom Kurzzeitgedächtnis aktiv gehalten werden können (Kap. 4). Ihre Gruppierung wird zudem nicht visuell unterstützt. Der Benutzer wird daher diese Liste *mehrmals* lesen, bis er eine Auswahl der darzustellenden Ebenen treffen wird. Gleiches gilt für die horizontale Menüleiste. Auch sie ist überfrachtet, so dass sich der Benutzer durch wiederholtes Betrachten an die Inhalte erinnern muss.

Im Bereich des Kartenfeldes wird die Legende eingeblendet. Ihre Elemente werden ebenfalls als *sequentielle Liste* dargestellt. Es mangelt an Transparenz. Die zuvor genannten Nachteile umfangreicher Listen gelten auch hier. Zudem kommt erschwerend hinzu, dass die Legende gescrollt werden muss, damit alle Elemente sichtbar werden. Den Untersuchungen von *Hofer* und *Zimmermann* (1998) zufolge ist dieser Vorgang jedoch *störend*, da er bewusst durchgeführt werden muss und daher zusätzliche Zeit und Aufmerksamkeit erfordert. Zudem wird ein Kartenausschnitt verdeckt, so dass das Kartenlesen er-

schwert wird. Eine derartige Oberfläche ist daher eher für *Experten* oder *routinierte Nutzer* geeignet, da sich die Bedieneffizienz erst durch kontinuierliches Training einstellt.

Abbildung 5-14 zeigt die Benutzungsoberfläche einer Software für die Landschaftsvisualisierung (Buziek u. Döllner 1999, CD-Beispiel 7). Die Menüleiste enthält *gruppierte* Bedienelemente. Von höchster Priorität sind die oben links aufgeführten *Navigationsfunktionen*, die dem Benutzer unterschiedliche Möglichkeiten der Navigation im Sekundärmodell offerieren. In der darauf folgenden Gruppe sind unterschiedliche Funktionen der Höhenmessung zusammengestellt – ein Beispiel für die von *van der Schans* (1999) vorgeschlagene Interaktion mit dem Landschaftsmodell. Als Funktion der *digitalen Kartometrie* (Buziek 1994) findet sich in der dritten Bedienelementgruppe die Funktion der Streckenmessung. Weitere Funktionen schließen sich an. Sie bedürfen an dieser Stelle nicht der Diskussion, da hier besonders die *Gruppierung* und *prioritätenorientierte Anordnung* wichtig ist.

Im linken Bildschirmbereich wird dem Benutzer die Möglichkeit geboten, individuelle Gestaltungsmaßnahmen vorzunehmen. Es können *benutzerspezifische* thematische Ebenen (sog. *Categories*) eingerichtet werden, die bei Bedarf an- und ausgeschaltet werden können, und deren Hierarchie und Ordnung durch eine Baumstruktur zusätzlich visualisiert wird (doppelte Enkodierung). Dies entspricht der Forderung nach einem transparenten, klaren und individualisierbaren Informationsangebot.

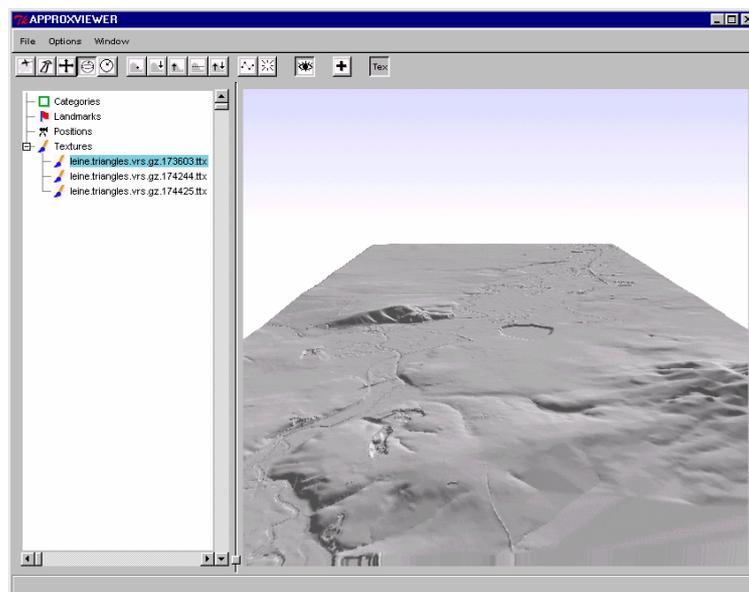


Abb. 5-14: Gestaltung der Benutzungsoberfläche einer Anwendung für die Landschaftsvisualisierung (Buziek u. Döllner 1999, CD-Beispiel 7).

Die *Raumorientierung* des Nutzers kann durch zusätzliche Markierungen im Modell individuell und den Nutzerintentionen entsprechend unterstützt werden. Zudem sind die Speicherung und die Aktivierung ausgewählter Kamerapositionen möglich. Die so entstandene Anordnung wird zusätzlich durch eine Baumstruktur graphisch dargestellt, so dass sowohl das visuelle als auch das textuelle Gedächtnis angesprochen wird (vgl. Shneidermann 1999). Ein schneller und sicherer Informationszugriff wird durch diese Art der optischen Unterstützung gewährleistet. Die entworfenen Piktogramme sind zugun-

ten der Erinnerbarkeit bewusst einfach und zugleich aussagekräftig gehalten. Ihre Funktion wird zudem durch einfaches Ausprobieren (eigenes Handeln aus Interesse) deutlich. Die Oberfläche eignet sich daher besonders für die Benutzung durch *Neulinge*.

Abbildung 5-15 zeigt eine Ansicht der Benutzungsoberfläche des Atlas der Schweiz (Hurni, u. a. 1999). Die Menüzeilen sind *klar gegliedert* in *fünf* Kategorien und *drei* Hierarchieebenen. Zudem wird die Gliederung *typographisch betont* durch Variation der Schriftgröße und –stärke, so dass stets die *thematische Orientierung* gewährleistet ist (Redundanzprinzip). Durch eine Pfeilsignatur in der Menüleiste wird dem Benutzer stets signalisiert in welchem Informationsbereich des Produktes er sich gegenwärtig befindet (Unterstützung der Orientierung). *Klarheit, Übersichtlichkeit, Orientierung* und *Informationsstransparenz* werden dadurch sichergestellt.

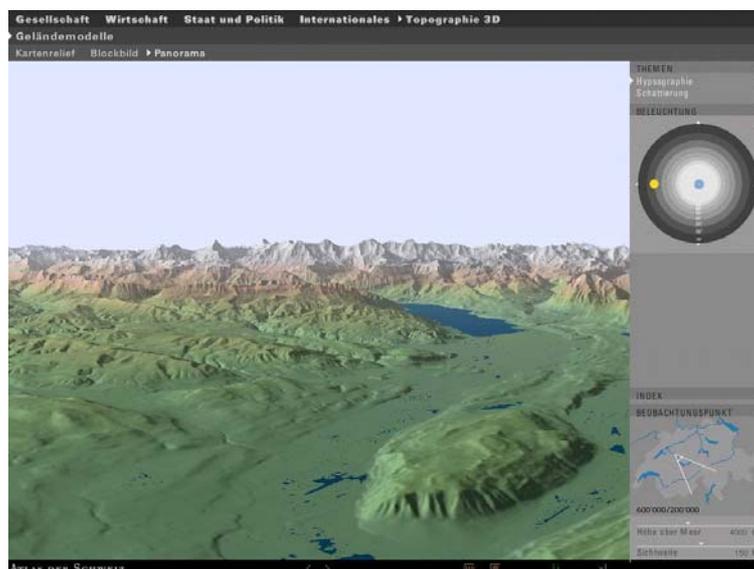


Abb. 5-15: Benutzungsoberfläche des Prototypen des Atlas der Schweiz (Hurni, Bär, Sieber 1999, ©Atlas der Schweiz, © DHM 25, Landestopographie Wabern)

An der rechten Bildschirmseite befindet sich die Legende. Sie enthält alle für die Karteninterpretation notwendigen Informationen und kann *bei Bedarf* eingeblendet werden. Dem Informationsbedürfnis unterschiedlich erfahrener Benutzer wird damit Rechnung getragen. Eine *individuelle Bedienung* ist möglich. Durch geringfügige, zeiteffiziente Interaktion (z. B. Auswählen der Legendeninhalte) können weitere kartographische Informationen verfügbar gemacht werden. Analog zur *thematischen Navigation* wird auch die *räumliche Navigation* durch eine Übersichtskarte unterstützt und dem Benutzer dadurch eine Hilfe für die Orientierung gegeben.

#### 5.5.4.3 Untersuchungen zur Bewertung von Benutzeroberflächen

Nach der deskriptiven Betrachtung von Benutzeroberflächen ausgewählter MM-KIS stellt sich die Frage nach möglichst objektiven Bewertungskriterien. Sie sind anhand kartographischer Anwendungen von *Koppe* (1998) auf der Basis moderner Ergebnisse der Softwareergonomie untersucht worden.

Die DIN 66234/8 legt für die Bewertung der Oberflächenergonomie die Kriterien *Aufgabenangemessenheit*, *Selbstbeschreibungsfähigkeit*, *Steuerbarkeit*, *Erwartungskonformität* und *Fehlerrobustheit* fest. Für die Untersuchung von multimedialen kartographischen Darstellungen wird von *Koppe* (1998) zusätzlich das Kriterium *Übersichtlichkeit* eingeführt. *Koppes* Untersuchungsziel ist herauszufinden, welche *Nutzermerkmale* die effiziente Handhabung von Softwareprodukten beeinflussen und wie die Verfügbarkeit unterschiedlicher Informationsdarstellungsformen von Nutzern beurteilt wird.

Im Rahmen eines Feldtests wurden Nutzermerkmale erfasst. Dies sind *soziometrische Größen* (Geschlecht, Alter, Beruf), *Charaktereigenschaften* (Risikobereitschaft, Offenheit, Sensibilität, Kontrolliertheit) sowie *technisches Wissen und Können* (Computer-, Karte- und Multimedia-Nutzung). Letztere werden klassifiziert durch Kombination der Merkmale *"geübt"*, *"ungeübt"*, *"regelmäßig"* und *"sporadisch"*. Allen Versuchspersonen wurde eine Einarbeitungszeit von 10 Minuten in die Oberflächenbedienung gegeben. Danach wurden unterschiedliche Aufgaben zur Navigation, Orientierung, Informationsentnahme und Medienverwendung bearbeitet. Insgesamt unterzogen sich 32 Personen dem Test. Aufgrund dieser geringen Stichprobe muss die Untersuchung als Vortest klassifiziert werden.

Mit dem Test sollen die folgenden konkreten Fragestellungen beantwortet werden:

1. Beeinflusst die Variable *Alter* die Beurteilung der Produkte und die Aufgabenlösung?
2. Haben *Charaktermerkmale* Einfluss auf die Aufgabenlösung?
3. Beeinflusst *technisches Wissen und Können* die Beurteilung der Produkte und die Aufgabenlösung?
4. Hat die *Art der Einarbeitung* (systematisch, ziellos, explorativ) Einfluss auf die Aufgabenlösung?

Als Null-Hypothesen wurde jeweils angenommen, dass die Fragen mit "Ja" beantwortet werden können. Die Auswertung ergab folgende Trends an:

- Das Alter wirkt sich auf die Lösung der gestellten Aufgaben nicht aus,
- eine hohe Risikobereitschaft führt zur schnelleren Aufgabenlösung und
- als „geübt“ klassifizierte Multimedia-Anwender lösen die Aufgaben schneller.

Zusätzlich wurden offene Fragen zu den untersuchten Produkten gestellt. Ihre Auswertung ergab, dass

- Sprache in Kombination mit anderen Informationsdarstellungsformen sowie Sprachanweisungen angenehm empfunden werden,
- Hintergrundmusik überflüssig ist,
- detaillierte Informationen positiv sind und
- Flugsimulationen als Ergänzung zu kartographischen Darstellungen ebenfalls positiv empfunden werden.

Besonders negativ fiel auf, dass

- einige Funktionen nur durch Zufall gefunden wurden,
- Piktogramme der Oberflächengestaltung nicht intuitiv interpretiert werden konnten und
- Hilfsfunktionen nicht verfügbar waren.

## 5.6 Allgemeine gestalterische Aspekte von multimedialen KIS

### 5.6.1 Vorbemerkungen

Im Vergleich mit einer traditionellen Karte sind *multimediale kartographische Informationssysteme* (MM-KIS) geprägt durch eine hohe Komplexität, die sich vor allem durch eine Vielzahl unterschiedlicher Darstellungs- und Ausdrucksmittel zeigt.

Neben ihrer jeweiligen Gestaltung ist vor allem ihre *Kombination* ein entscheidender Faktor für die Kommunikationseffizienz und die damit verbundene Tertiärmodellbildung. Aufgrund dieser Erkenntnis sind bereits experimentelle Untersuchungen zu Einzelaspekten durchgeführt worden, z. B. zur Parametrisierung von Perspektivdarstellungen (Sieber 1996), zur Kombination von Bild und Text (Dransch 1997b) oder zur Wirkung interaktiver Legendelemente, textuellen Erläuterungen und georäumlichen Mustertypen (Heidmann 1999). Ansätze über das *allgemeine Zusammenwirken* von Multimediaelementen finden sich mit Ausnahme des an traditionellen Karten orientierten Konzepts der kartographischen Arbeitsgraphik (Heidmann 1999) jedoch nicht. Es stellt sich daher die Frage, wie zum Zwecke des MM-KIS-Entwurfs das Wechselspiel der Komponenten eines MM-KIS allgemein beschrieben werden kann.

Vor diesem Hintergrund wird in den folgenden Abschnitten zunächst mit Hilfe eines semantischen Netzes ein *allgemeines MM-KIS* entworfen, mit dem die zwischen den Elementen bestehenden Wechselwirkungen und Relationen zum Ausdruck gebracht werden. Es wird ergänzt durch einen Klassifikationsvorschlag für die gemeinsamen Merkmale der wichtigsten multimedialen Ausdrucksmittel.

Zusammen mit dem in Abschnitt 5.4 entworfenen *multimedialen Zeichen- und Variablen-system* ist damit die Grundlage geschaffen für experimentelle und analytische Betrachtungen im Kapitel 7.

### 5.6.2 Semantische Struktur eines allgemeinen multimedialen kartographischen Informationssystems (MM-KIS)

*Multimediale kartographische Informationssysteme* sind Spezialformen von allgemeinen Informationssystemen. Ihre Aufgabe ist die Vermittlung raumbezogener Informationen unter Zuhilfenahme unterschiedlicher Ausdrucksformen und der Interaktion. Sie bieten dem Nutzer einen nicht-sequentiellen Informationszugang, so dass zur abstrakten Modellierung eines derartigen Systems die Methode der *Semantischen Netze* angewendet werden kann. Sie umfasst Knoten als Repräsentanten von Konzepten und bewertete Kanten als Repräsentanten von semantischen Assoziationsbeziehungen zwischen den Knoten (Reimer 1991). In der Abbildung 5-16 repräsentieren die *Knoten* die Ausdrucksmittel eines MM-KIS und ihre Eigenschaften. Die *Kanten* stellen Beziehungen zwischen ihnen dar. *Ungerichtete Kanten* zeigen Wechselbeziehungen auf: Z. B. kann eine Karte mit mehreren Bildern verknüpft sein und umgekehrt. *Gerichtete Kanten* verdeutlichen *Hierarchien*: So ist die *Animation* eine spezielle Variante des *Films* und die topographische Karte die Spezialisierung einer kartographischen Darstellungsform. Knoten, die Eigenschaften veranschaulichen, sind in kursiver Schrift dargestellt.

Die primären Konzepte eines MM-KIS sind *visuelle* und *akustische* Elemente, *Interaktion*, *Geoinformation* sowie die *Systemnutzer*. Auf sie sind der Inhalt und die Gestaltung besonders abgestimmt. Die visuellen Elemente sind am bedeutendsten, da sie im Vergleich mit akustischen Elementen in der Lage sind, unterschiedliche Informationen *simultan* anzubieten. Sprache oder Musik lassen dies nicht zu. Sie vermitteln ihre Inhalte sequentiell. Das Bild als statische graphische Darstellung ist daher das wichtigste Darstellungsmittel. Es gewährt dem Nutzer eine unbegrenzte Betrachtungszeit und kann in seiner Eigenschaft als Graphik, Schemazeichnung oder kartographische Darstellungsform abstrakte Zusammenhänge darstellen, während Photos die reale Umwelt wiedergeben und interpretiert werden müssen. Schrift dient als erläuterndes Element und ist Träger semantischer Informationen. Für die Darstellung zeitlicher Abläufe oder Zusammenhänge eignen sich besonders Filmsequenzen (vgl. Buziek, Rase, Dransch 2000).

Im Vergleich zu den Darstellungsmöglichkeiten der visuellen Elemente sind die der akustischen Elemente weniger umfassend. Inhaltlich sind sie mit der Funktion von Schrift vergleichbar; ihr gegenüber haben sie jedoch den Vorteil, dass sie nicht visuell ablenken, sondern auf einem anderen Sinneskanal simultan zur Betrachtung von Graphik weitere Informationen vermitteln. Darüber hinaus unterscheiden sie sich in der *Verknüpfbarkeit*. Bilder vermögen sich gegenseitig zu referenzieren, ebenso textuelle Darstellungen. Akustische Elemente können jedoch nur eingebunden werden und lassen kein Verzweigen auf andere Informationsdarstellungen zu.

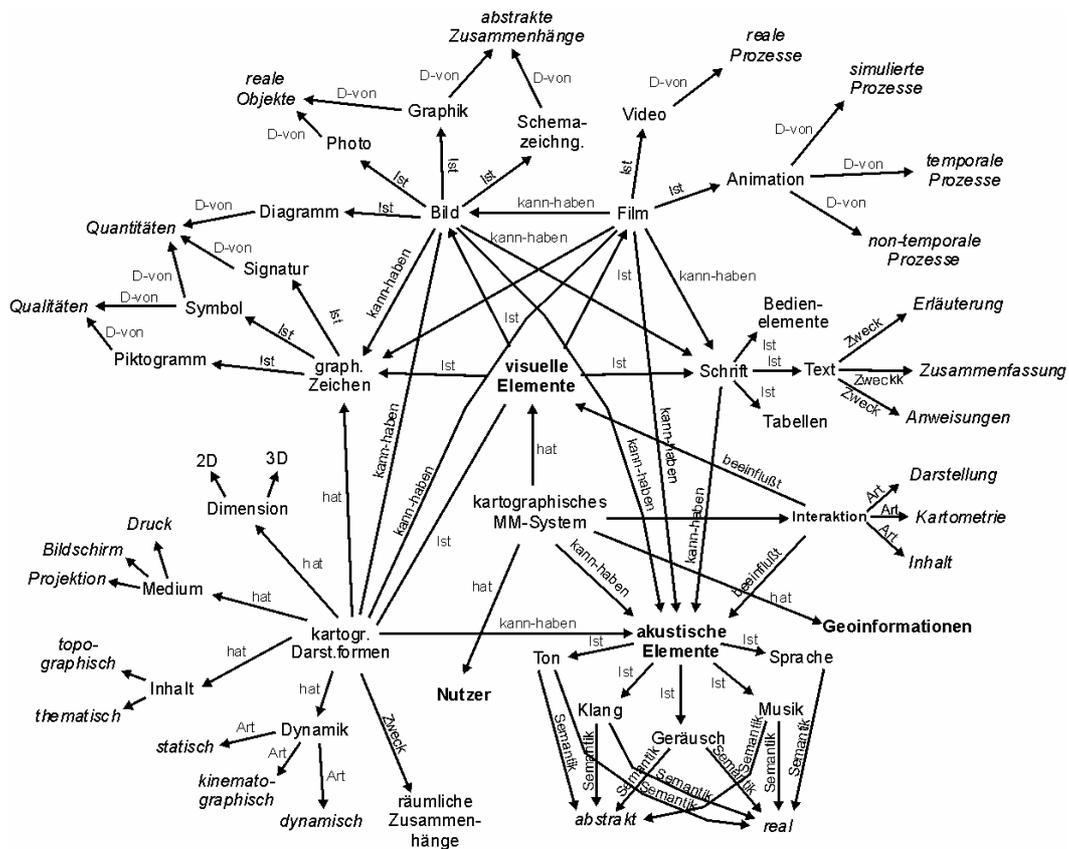


Abb. 5-16: Semantisches Netz eines allgemeinen multimedialen kartographischen Informationssystems (hierarchische (→) und wechselseitige (↔) Assoziationsbeziehung)

### 5.6.3 Zur Klassifikation multimedialer Ausdrucksmittel

#### 5.6.3.1 Gemeinsame Merkmale und Merkmalsdiagramme

Aus gestalterischer Sicht ist die **Verknüpfbarkeit** von Wiedergabemedien (5.3) ein wichtiges gemeinsames Merkmal (vgl. Tergan 1995). Es beeinflusst den in Abschnitt 5.3 eingeführten *Interaktionsgrad* und damit ein wesentliches Merkmal neuartiger Ausdrucksformen. Dadurch kommt die *Hypermediafähigkeit* eines MM-KIS zum Ausdruck. Jedes Medium ist grundsätzlich ein **Zielmedium**, d. h., ein digitaler Verweis (Link) führt ausgehend von einem anderen Medium (Startmedium) zum Zielmedium hin. Zielmedien lassen keine weiteren Verweise zu und stehen damit *am Ende einer Informationskette*. Sie sollten daher Informationen vermitteln, die einen Sachverhalt erschöpfend ergänzen, zusammenfassen oder verdeutlichen und zugleich keine weiteren für die Lösung der Aufgabe wichtigen Assoziationen wecken.

**Startmedien** hingegen besitzen die Fähigkeit, auf andere Medien zu verweisen. Filmsequenzen und akustische Elemente eignen sich dafür bislang nicht; sie sind daher in einem MM-KIS nur eingeschränkt bzw. als Ergänzung verwendbar.

Besonders bedeutsam sind aufgrund ihrer universellen Einsetzbarkeit Bilder und Texte, da sie als Start- und Zielmedien einsetzbar sind (reversibler Einsatz). Ihre Funktion ähnelt denen der Knoten eines Netzwerkes. Sie halten die Informationsredundanz im Netzwerk gering, ermöglichen zugleich eine gewisse Zugriffsflexibilität und unterstützen die individuelle Informationsexploration.

Die verwendeten Medien werden grundsätzlich durch *Interaktion* zwischen Mensch und Maschine aktiviert. Sie müssen daher durch **Interaktivität** gekennzeichnet sein (5.3). In Bezug auf das jeweilige Ausdrucksmittel kann die Interaktion entweder auf *Veränderung* ausgerichtet sein oder den *Übergang auf andere Ausdrucksmittel* bewirken (vgl. 5.5). Letzteres wird bereits durch die Verknüpfbarkeit beschrieben, so dass die *Veränderung der Ausdrucksmittel* der Hauptaspekt ist. Die Interaktivität ist damit ein wesentliches Merkmal für die Flexibilität und individuelle Benutzbarkeit eines Systems und übt einen nicht unerheblichen gestalterischen Einfluss aus (Haack 1995). Die Interaktivität wird skaliert von "gering" bis "hoch". Hohe Interaktivität ist gegeben, wenn die in Abschnitt 5.5 erläuterten Interaktionsformen vom System unterstützt werden. Die Interaktivität ist gering, wenn nur Teilmengen einer oder mehrerer Interaktivitätsformen auftreten.

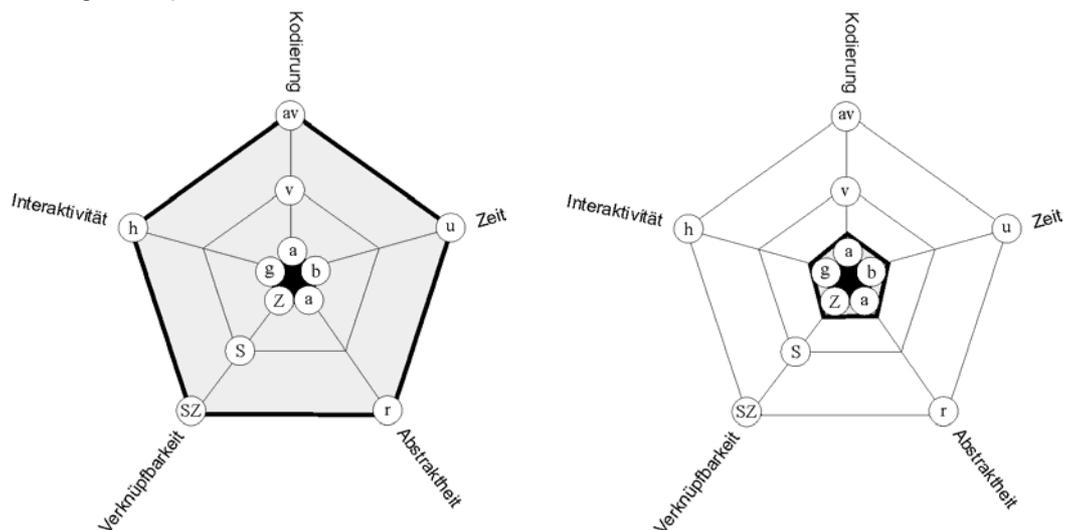
In Bezug auf die Sinneswahrnehmung ist die Art der **Informationskodierung** ein weiteres wichtiges Merkmal (Darstellungskanäle, Abschnitt 5.3). Am wichtigsten sind die *visuelle* und die *akustische* Kodierung, da einerseits die heute allgemein verfügbare Computertechnologie auf die Wiedergabe akustischer und visueller Informationen ausgerichtet ist, und andererseits das menschliche Wahrnehmungssystem über den visuellen und akustischen Wahrnehmungssinn umfangreiche Informationsmengen verarbeiten kann (vgl. Kap. 2 u. 3, Klimsa 1995).

Ein weiteres primäres Merkmal von multimedialen Informationseinheiten ist ihr **zeitliches Verhalten** (Dynamikgrad, 5.3). Es kennzeichnet entweder die *zeitliche Verfügbarkeit* einer Information oder die *Veränderung der Informationseinheit* über die Zeit. Beide Formen des zeitlichen Verhaltens üben einen nicht unerheblichen Einfluss auf die individuel-

le Informationsverarbeitung aus und beeinflussen vor allem den Effekt der *Informationsüberfrachtung*, da das individuelle Wahrnehmen zeitlich eingeschränkt wird (vgl. 5.5.4.5, Weidenmann 1995).

Ein weiteres Merkmal ist die **Abstraktheit** von Ausdrucksmitteln (Darstellungsdimension, 5.3). Ist es durch eine hohe Wirklichkeitstreue geprägt, so ist die Informationsdarstellung *realistisch*, andernfalls *abstrakt*. Der wesentliche Vorteil einer realistischen Darstellung ist, dass Informationen anschaulich vermittelt werden können und daher leicht an verfügbares Weltwissen angeknüpft werden kann (vgl. 4.3.7). Nachteilig ist der häufig erforderliche Interpretationsbedarf. Abstrakte Darstellungen weisen hier Vorteile auf, da sie das Wesentliche vom Unwesentlichen trennen und interpretierte Informationen vermitteln (vgl. Weidenmann 1995).

Die hier vorgestellten Merkmale dienen zur Konkretisierung der in Abschnitt 5.3 vorgeschlagenen Klassifikation. Sie ist damit nicht nur auf die einzelnen Elemente eines MM-KIS anwendbar, sondern auch auf das System selbst. So ist eine herkömmliche Karte charakterisiert durch die Merkmale "*visuelle Informationskodierung*", "*unbegrenzte zeitliche Verfügbarkeit*" und den Trend zur "*Abstraktion*". Bei einer Bildschirmkarte kommt die "*Verknüpfbarkeit*" und die "*Interaktivität*" hinzu, und multimediale Auskunftssysteme können alle zuvor genannten Merkmale in nahezu beliebiger Kombination ihrer Elemente umfassen. In der Abbildung 5-17 sind die primären Merkmale durch Merkmalsdiagramme dargestellt. Die grau hinterlegte Fläche kennzeichnet jeweils den verfügbaren Gestaltungsbereich. In einem MM-KIS stehen die Merkmale in ihrer gesamten Spannweite zur Verfügung (Abb. 5-17 a). Ein einfaches Tonsignal hingegen lässt keine Interaktivität zu, ist zeitlich nur begrenzt wahrnehmbar, nur als Zielmedium nutzbar und von abstrakter Natur. Der Anwendungsbereich ist daher erheblich eingeschränkt (grauer Bereich in Abbildung 5-17b).



Abkürzungen: *Verknüpfbarkeit*: **SZ**: Start-/Zielmedium      **S**: Startmedium      **Z**: Zielmedium  
*Interaktivität*:      **h**: hoch      **g**: gering  
*Kodierung*:      **av**: audio-visuell      **v**: visuell      **a**: auditiv  
*Zeit*:      **u**: unbegrenzt      **b**: begrenzt  
*Abstraktheit*:      **r**: realistisch      **a**: abstrakt

Abb. 5-17: Merkmalsdiagramme multimedialer Informationsdarstellungen.  
a) MM-KIS b) Tonsignal

### 5.6.3.2 Ausgewählte Anwendungsbeispiele

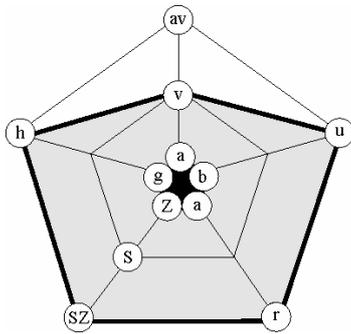


Abb. 5-18: Merkmalsdiagramm eines Bildes

Der Begriff **"Bild"** steht stellvertretend für eine Reihe von Ausdrucksmitteln, die abhängig von dem zu vermittelnden Sachverhalt und der anzusprechenden Nutzer ausgewählt und gestaltet werden. In einem MM-KIS dienen sie als Start- und Zielmedien und können dadurch dem System Struktur verleihen. Da sie große Bereiche des Merkmalsraums abdecken, sind sie eines der wichtigsten Gestaltungsmittel eines MM-KIS (Abb. 5-18). Ihre Vorteile liegen in der *unbegrenzten Betrachtungszeit*, so dass individuelle Betrachtungsstrategien eingesetzt werden können. Sie können abstrakt gehalten sein für die Vermittlung schematischer Zusammenhänge, aber auch realistisch, so dass eine höhere Identität von Umwelt und ihrem zu bildenden Tertiärmodell erzielt werden kann (vgl. Kap. 3).

Die allgemeinen Verwendungsprinzipien und Funktionen sind schon vielfach beschrieben worden und werden hier nicht wiedergegeben (Bäumler 1991, Klimsa 1995, Siemoneit 1995, Hasebrook 1995, Issing u. Klimsa 1995, Weidenmann 1994/95). Die Literaturrecherche zeigt jedoch, dass im Falle von kartographischen Bildnutzungen häufig der Aspekt des *Raumbezugs* nicht berücksichtigt wird (vgl. Abb. 5-19).

Hierzu ist festzustellen, dass Bilder, die *konkrete topographische Objekte* zeigen, auch stets mit *konkreten Positionen in der Karte* in Verbindung gebracht werden sollten. Wird darauf verzichtet, so ergeben sich bei näherem Interesse an der Bildinformation unbeantwortete Fragen oder zeitaufwendige Recherchen. Die Kommunikationseffizienz leidet und das Tertiärmodell der Umwelt ist inkonsistent.

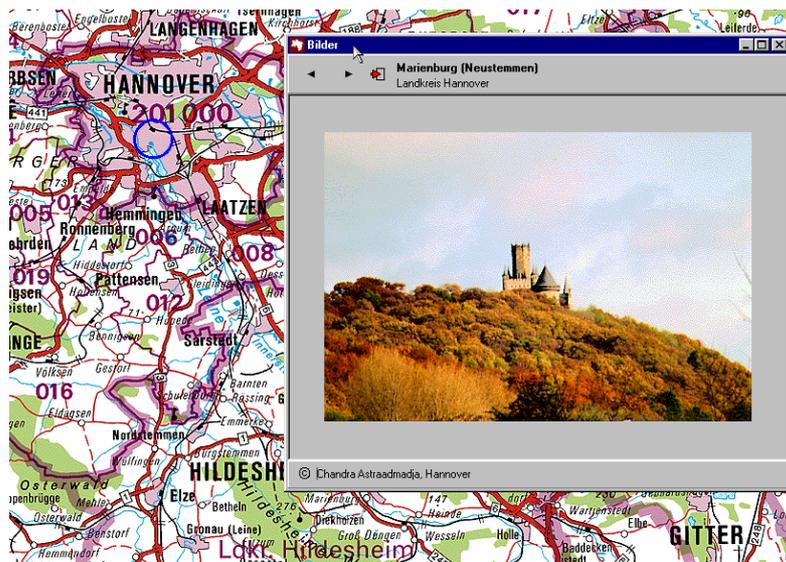


Abb. 5-19: Kombination einer topographischen Karte mit einer Photographie. Sie zeigt ein konkretes topographisches Objekt, jedoch ohne räumliche Zuordnung. Objekt und Objektllokation können nicht assoziiert werden. Eine Zuordnung ist nicht möglich.

Abbildung 5-19 zeigt einen derartigen Sachverhalt. Die Abbildung enthält das Bild eines historischen Gebäudes zusammen mit einem Kartenausschnitt. Durch diese Kombination wird die Frage nach der örtlichen Lage der Burg geweckt, die jedoch mangels einer entsprechenden Kartensignatur in diesem Fall nicht beantwortet werden kann.

Anders stellt sich der Fall dar, wenn Bildinhalte *Eindrücke* oder *Impressionen* über den Geo-Raum vermitteln sollen. Ein diskreter Bezug ist in diesen Fällen nicht notwendig, jedoch sollte auf eine *lokale* oder *regionale Zuordnung* nicht verzichtet werden. Für die Verwendung von Bildern in kartographischen Multimedia-Applikationen lässt sich daher folgendes festhalten:

*Bilder, deren Inhalte konkrete topographische Objekte zeigen, müssen eindeutig dem Geo-Raum zugeordnet werden können. Dies kann z. B. durch entsprechende Signaturen in einer kartographischen Darstellung oder Ausdrucksform unterstützt werden.*

*Bilder, deren Inhalte Eindrücke oder Impressionen vermitteln sollen, bedürfen der regionalen Zuordnung.*

In der Abbildung 5-20 wurden diese Empfehlungen berücksichtigt. Gezeigt werden Elemente eines kartographischen Auskunftssystems, in dem Bildmaterial in seiner *Stellvertreter-Funktion* eingesetzt wird (Bäumler 1991). Es vermittelt dem Nutzer einen Eindruck von der Örtlichkeit und ersetzt dadurch z. T. die persönliche Raumerfahrung vor Ort (Gutounik 1997, Buziek 1999). Der Raumbezug wird durch den Kartenausschnitt und eine Signatur, die den Betrachterstandpunkt wiedergibt, dargestellt. Die Bildinformation liegt als Panoramaansicht vor, so dass der Betrachter nicht an eine Kameraperspektive gebunden ist. Dies kommt der natürlichen Umweltwahrnehmung entgegen. Diese Art der Kombination von Karte und Bild fördert die *assoziative Tertiärmodellbildung*. Sie erfolgt nach dem *Komplementaritätsprinzip*, da die Informationen einander ergänzen und mental verknüpft werden müssen (4.3.7.3).

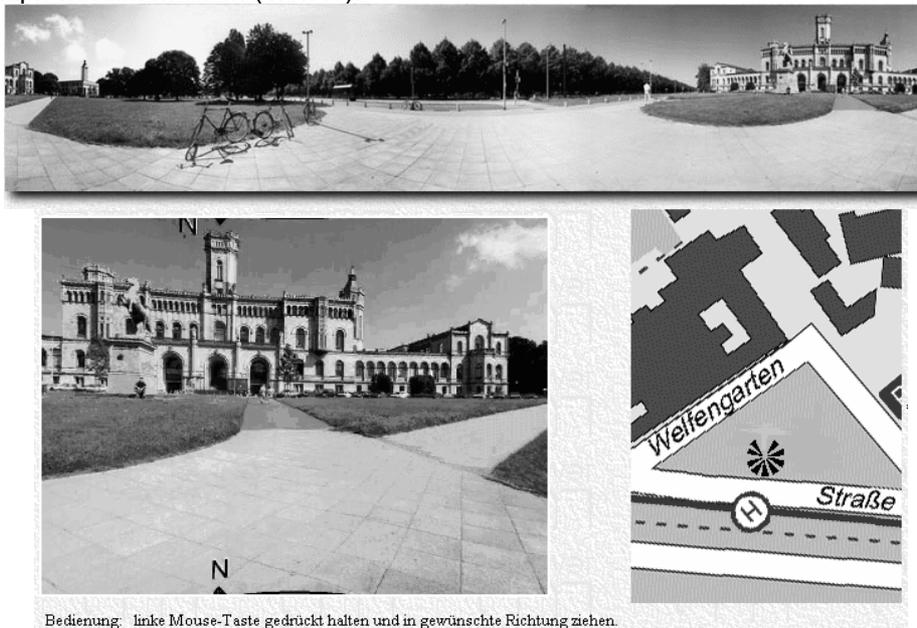


Abb. 5-20: Elemente eines kartographischen Informationssystems. Panoramabilder und Kartenausschnitt ergänzen einander und fördern dadurch die assoziative Gedächtnisbildung.

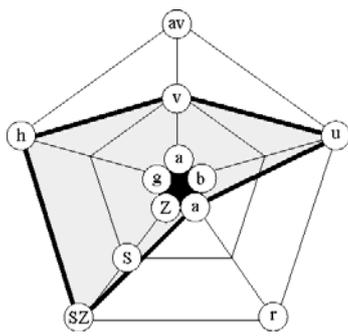


Abb. 5-21: Merkmalsdiagramm der schriftlichen Textdarstellung

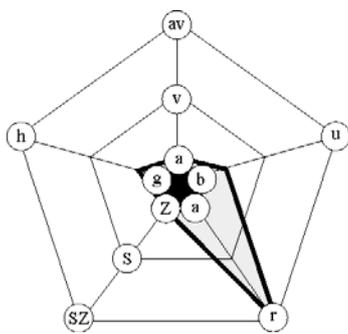


Abb. 5-22: Merkmalsdiagramm sprachlicher Texte

Ein weiterer wichtiger Informationsträger ist der **Text** (Schnotz 1995). Er wird durch *Sprache* akustisch dargestellt (Zielmedium) und durch *Schrift* graphisch (Start- und Zielmedium, Abb. 5-21). Die Grundlagen für die Textgestaltung liefert die Typographie (Bäumler 1991, Siemoneit 1995). Sie sollen hier nicht weiter erörtert werden. In MM-KIS übernimmt Text eine erläuternde Funktion und trägt zur Kommunikationseffizienz und Plausibilität des resultierenden Tertiärmodells bei (vgl. Heidmann 1999). Aus wahrnehmungstheoretischer Sicht ist die schriftliche Textdarstellung gegenüber der sprachlichen in einigen Punkten im Vorteil. Schriftlicher Text kann als Start- und Zielmedium dienen und flexibel im MM-KIS eingesetzt werden. Darüber hinaus steht er dem Nutzer - ebenso wie die Bildinformation - unbegrenzt zur Verfügung und unterstützt dadurch die individuellen Lesegewohnheiten. Die simultane bewusste Wahrnehmung weiterer visueller Informationen ist nicht möglich, so dass schriftlicher Text möglichst nicht zusammen mit dem Ausdrucksmittel "Film" verwendet werden sollte.

Die **sprachliche** Textdarstellung ist vor allem durch ihre *psycho-akustische Wirkung* gekennzeichnet, die durch die *Wahrnehmung der Tondimensionen* bestimmt wird

(3.3, 5.4.5). Von ihnen ist *Wohlklang* die wichtigste Dimension, da sie die Wahrnehmungsatmosphäre maßgeblich bestimmt und damit zum *Lernerfolg* (vgl. 3.3.5) einen wichtigen Beitrag leistet. Der Interaktivitätsgrad ist gering und von dem Wiedergabemedium abhängig (Lautstärke, Tonhöhe usw.). Die Rezeptionsdauer ist mit der zeitlichen Darbietungsdauer identisch, während die Abstraktheit die gesamte Spannweite umfasst (Abb. 5-22). Die Verwendung von Sprache ist insbesondere dann von Vorteil, wenn der Nutzer zeitgleich mit der Vermittlung von visuellen Eindrücken Sprachinformation erhalten soll, z. B. in Form von Erläuterungen zu einer Animationsfrequenz. Die Sprachinformation übernimmt in diesen Fällen bereits einen Teil der ansonsten vom Individuum zu erbringenden kognitiven Leistung zum Verständnis des visualisierten Sachverhalts (Klimsa 1995). Nachteilig ist die *vorgegebene* Zeitspanne der Informationsvermittlung, die eine konzentrierte Informationsperzeption voraussetzt (vgl. Abb. 5-16).

Sprache ist nur als Zielmedium einsetzbar, so dass ihr Verwendungszweck in der Vermittlung von *erläuternden Hinweisen*, *graphisch nicht darstellbaren Sachverhalten* und *Handlungsanweisungen* besteht. Darüber hinaus können sie – imperativisch genutzt – Anleitung und Hilfestellung zur Systembedienung geben und motorische Handlungen bewirken. Nach der multimodalen Gedächtnistheorie tragen sie somit besonders zur assoziativen Verknüpfung neuer Informationen mit bestehenden Gedächtnisinhalten bei (vgl. 4.3).

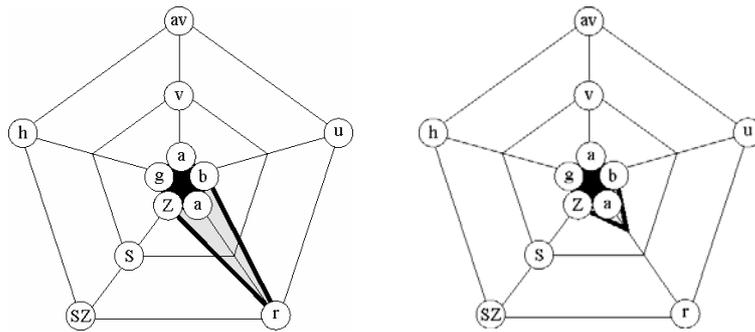


Abb.: 5-23: Merkmalsdiagramme: a) Realweltgeräusche, b) abstrakte Geräusche

**Töne** und **Klänge** zählen ebenso wie die Sprache zu den akustischen Ausdrucksmitteln. Sie sind *Zielmedien* und dienen daher der *Ergänzung* anderer Informationsdarstellungen. Dies zeigt sich an ihren erheblich begrenzten Merkmalsräumen (Abb. 5-23). Sie können *verstärkend* wirken, z. B. durch die Synchronisation von Klangrhythmus und visueller Veränderungsfrequenz. Darüber hinaus wirken sie *aufmerksamkeitserzeugend*, da bestimmte Frequenzen mit besonderer Prägnanz wahrgenommen werden (Abschn. 3.3.6). *Klänge* und *Geräusche* sind aber auch in der Lage *Schemata* des Bewusstseins anzusprechen (Kap. 4), wenn der Wahrnehmung eine Trainingsphase vorausgegangen ist. Sie können dadurch umfangreiche mentale Konzepte und Programme auslösen und Assoziationen aktivieren (4.3.7). Das Tertiärmodell der Umwelt wird auf diese Art und Weise verfeinert. Da die akustische Wahrnehmung simultan zur visuellen Informationsaufnahme erfolgt, ist sie besonders effektiv.

Töne, Klänge und Geräusche können sowohl in *realer* als auch *abstrakter* Form auftreten. Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal liegt in diesen Fällen in der *Semantik*, die bei Realweltgeräuschen bereits festgelegt ist. Die Gestaltung ist daher stark eingeschränkt und bezieht sich auf die Darbietung und nicht auf den Inhalt. Zu ihrem Verständnis ist daher Weltwissen in Form von episodischem Wissen notwendig, andernfalls muss sich ihre Bedeutung durch die kontextuelle Verwendung mit anderen Ausdrucksmitteln ergeben.

Bei *abstrakten* Geräuschen muss die Semantik zunächst gebildet werden. Dies kann durch zusätzliche Erläuterungen oder im Kontext mit anderen Medien geschehen. Abstrakte Geräusche sind folglich auch *inhaltlich gestaltbar* und können daher als Träger semantischer Informationen verwendet werden.

Eine besondere Rolle spielt die **Musik**. Sie ist geeignet, um Stimmungen zu erzeugen und bestimmt damit in erheblichem Maße die *Wahrnehmungsatmosphäre* und die *Lerneffizienz* (6.2.2). Ihre *permanente Darbietung* kann jedoch auch zu *Monotonie* und *Sättigungseffekten* führen, die sich störend auf den weiteren Wissenserwerb auswirken können (Schick 1979).

Sie kann als *unterstützendes* und *dramaturgisches* Ausdrucksmittel, z. B. bei kartographischen Animationen, angewendet werden. Verwendungszweck ist die Betonung ausgewählter Sequenzen, die prägnante Gestaltung zeitlicher Abläufe oder die Unterstützung räumlicher Eindrücke. Der Wahrnehmungseindruck wird dadurch besonders vertieft. Sie kann sich besonders beim freien Erinnern eines Sachverhalts positiv auswirken, da sie ein weiterer Hinweisreiz auf eine Information ist (assoziative Wissensbildung).

## 5.6.4 Zum Entwurf eines MM-KIS

### 5.6.4.1 Allgemeine Entwurfsprinzipien

Der Gestaltung und Kombination von Informationsdarstellungsformen in einer multimedialen Systemumgebung geht zunächst die *System- und Anforderungsanalyse* voraus (vgl. Kerres 1995). Im Zuge dieser Arbeiten ist zu ermitteln, welche Leistungen das zu erstellende System umfassen soll und an wen die zu vermittelnden Informationen gerichtet sind. Daraus ergibt sich dann ein Vorschlag für das Übertragungsmedium, sofern es nicht aufgrund von Zielgruppenmerkmalen bereits festgelegt wurde.

Die für Multimedia-Systeme typische hohe Informationsdichte lässt eine simultane Darstellung aller Informationen nicht zu. Es folgt daher der Prozess der **Informationsstrukturierung**, in dem die zu vermittelnden Informationen inhaltlich näher spezifiziert und dem Nutzer über die Benutzeroberfläche zugänglich gemacht werden.

Wichtig ist dabei zunächst die Bildung eines **allgemeinen Wissensrahmens**, in dem die Informationen zunächst strukturell und gestalterisch, und später auch kognitiv, integriert werden können (Bäumler 1991). Der Wissensrahmen kann gebildet werden durch *Überschriften, graphische Unterteilungen, Zusammenfassungen, Diagramme*, kurze *sprachliche* oder *schriftliche Erläuterungen* usw. Von Vorteil für ein Gesamtsystem ist die singuläre Darstellung dieser Information, so dass die kognitive Informationsverarbeitung zur Wissensbildung im LZG führen kann. Die kognitiven Prozesse des LZG, z. B. *Identifizieren, Reproduzieren* und *Produzieren* führen dann zur assoziativen Verknüpfung mit bestehendem Wissen oder zur Wissensneubildung. In dieses „Gedächtnisgerüst“ können dann weitere Informationen eingehängt werden.

Da der Wissenserwerb nach *Neisser* von dem bereits verfügbaren individuellen Wissen abhängt und nicht eindeutig determiniert werden kann, ist dafür Sorge zu tragen, dass Nutzer **individuell auf Informationseinheiten zugreifen** können. Dies setzt voraus, dass die im System enthaltenen Informationen jederzeit mit einer gewissen *Transparenz* verfügbar sind. Unnötiges und zeitintensives Suchen nach der Methode „Versuch und Irrtum“ kann dadurch vermieden werden. Zugleich unterstützt die Informationsklassifizierung und –strukturierung die Wahrnehmungsmechanismen des KZG. Die Informationen werden gruppiert angeboten und stellen somit bereits Sinneinheiten (Chunks) dar. Der kognitive Verarbeitungsaufwand wird als Folge davon erheblich minimiert. Damit wird die von *Norman* (1991) aufgestellte *Kernforderung für die Gestaltung von Benutzungsoberflächen* erfüllt: Das Angebot von *organisierter* Information für die schnelle visuelle Suche von weiteren Zielinformationen. Die konzeptionelle Systemgestaltung wird abgeschlossen mit der Festlegung der *Systemstruktur*, die *sequentiell, hierarchisch* oder *netzwerkartig* sein kann (Norman 1991).

In diesem Zusammenhang kann bereits das Merkmal „**Verknüpfbarkeit**“ den Informationen zugeordnet werden, so dass bereits *Start-, Ziel- und kombinierte Start/Zielmedien* festgelegt sind. Mit diesem Schritt ist der Übergang zur **Informationsgestaltung** vollzogen. Er umfasst des Weiteren die Festlegung von *Informationsrelationen* und *Informationsprioritäten* sowie die konkrete multimediale *Informationsgestaltung*.

An dieser Stelle ist zunächst zu unterscheiden, ob das Multimedia-Produkt primär kartographisch-geographische Informationen vermitteln soll, z. B. in Form eines elektronischen

Atlaswerkes, oder ob bedarfsweise mittels kartographischer Darstellungsformen geographische Sachverhalte zu erörtern sind, wie es z. B. im Rahmen einer elektronischen Enzyklopädie der Fall ist. In beiden Fällen ist zunächst die Erarbeitung von *inhaltlichen und wahrnehmungsspezifischen* Prioritäten ratsam.

*Inhaltliche Prioritäten* lassen sich insbesondere dann festlegen, wenn mit dem Produkt ein *konkretes Ziel* verfolgt wird. Bei einem Routenplanungssystem wird beispielsweise die Kartendarstellung des Straßen- und Wegenetzes und der Ortschaften dominieren, während Informationen über Tankstellen, Sehenswürdigkeiten, Landschaftsmerkmale, Hotels, Restaurants usw. rangniedriger sind.

Aus *wahrnehmungsspezifischer Sicht* ergibt sich jedoch eine andere Sichtweise. Für den Nutzer kann – abhängig von der Aufgabenstellung – nahezu jede beliebige Information von höchster Priorität sein, wenn sie als Antwort auf eine Frage erwartet wird und daher von höchstem Interesse ist. Beispiele sind die graphische Anzeige der geographischen Lage eines Denkmals, eines bestimmten Hotels, der nächsten Tankstelle usw. Es ergeben sich *temporale und aufgabenspezifische Prioritäten*, die gestalterisch zum Ausdruck gebracht werden müssen. Sie werden bereits durch die Anforderungsanalyse festgelegt und müssen im Zuge der Benutzeroberflächengestaltung besonders berücksichtigt werden, damit den Nutzern ein effizienter Zugang ermöglicht wird.

Im weiteren Verlauf müssen die *Darstellungsformen* für die unterschiedlichen Inhalte und Medienfunktionen festgelegt werden und darauf aufbauend dann die Verwendung verschiedener *Darstellungsmittel* nebst ihrer *Parametrisierung*, z. B. mit Hilfe des multimedialen Zeichen- und Variablensystems. Für die Lösung des ersten Teils der Aufgabe können beispielsweise *Zuordnungsempfehlungen* genutzt werden, wie sie von *Heidmann* (1999) gegeben werden. Tabelle 5-9 gibt dazu in komprimierter Form einen Überblick.

Sachverhalt	Darstellung
Reale, unbewegte Objekte	Fotographie Zeichnung Skizze Signaturen, Symbole, Piktogramme
Räumliche Verhältnisse, Relationen	Kartographische Darstellungs- und Ausdrucksformen
Zeitliche Abläufe - real - künstlich	Film, Video Trickfilm, Computeranimation
Abstrakte Sachverhalte - Begriffe - Zusammenhänge - Werte	Netze, Modelle, Graphen Schrift, Sprache Schriftliche/sprachliche Erläuterungen Diagramme
Empfindungen, Eindrücke	Musik, Klänge, Töne, Geräusche

Tab. 5-9: Die Zuordnung von Sachverhalten und Darstellungsformen (Nach: *Dransch* (1997b), *Heidmann* (1999) mit eigenen Ergänzungen)

#### 5.6.4.2 Die Kombination von multimedialen Ausdrucksmitteln

Die Organisation von Informationen und von Wissen im Gedächtnis erfolgt *assoziativ* und in *semantischen Gruppen* (4.3.7). Eine effiziente multimediale Gestaltung sollte dieser Organisation entsprechen und nach den Prinzipien der amodalen Wissensbildung erfolgen (4.3.7). Die wissensbildenden Prozesse konzentrieren sich dann im Wesentlichen

auf die *Verständnisbildung*. Die Kognition wird in diesem Fall von der Konstruktion und Strukturierung sachlicher Zusammenhänge entlastet.

Bei allen Kombinationen ist zu beachten, dass sie die Aufmerksamkeitsschwelle des Rezipienten überschreiten müssen um verarbeitet zu werden. *Besonders problematisch* sind daher *festgelegte zeitliche Abläufe*, da sie eine besonders sorgfältige Nutzeranalyse voraussetzen. *Flexibilität* und *Informationstransparenz* ist daher gestalterisch zu bevorzugen. Die sich aus der Kombination von jeweils zwei Darstellungsformen ergebenden Funktionen sind in Tabelle 5-10 zusammengefasst.

	<b>Bild</b>	<b>Zeichen</b>	<b>Sprache</b>	<b>Schrift</b>	<b>Film</b>	<b>Akustik</b>
<b>Bild</b>	Detail Überblick Ergänzung Unterschiedliche Zustände	Spezifikation von Details, Aktivierung von Schemata	Erläuterung von Sachverhalten	Bezeichnung von Objekten u. Sachverhalten	Darstellung von zeitlichen Abläufen	Anzeige einer Veränderung, Umweltmerkmal
<b>Zeichen</b>	Zusatz Ergänzung Veranschaulichung	Hierarchie Gliederung	Verstärkung Erläuterung von abstrakten Sachverhalten	Bezeichnung Erläuterung, umfassende Informationen	Darstellung von zeitlichen Abläufen	Ergänzung Aufmerksamkeit
<b>Sprache</b>	-	-	Diskussion	-	-	Wahrnehm. - atmosphäre
<b>Schrift</b>	Veranschaulichung Vorstellung	Ergänzung Zusammenfassung, Typisierung	Alternative, Verstärkung	Ergänzung, Gliederung, Hierarchie	Darstellung von zeitlichen Abläufen	W. Atmosphäre, Veranschaulichung
<b>Film</b>	Merkmale, Charakteristika	Aktivierung von Schemata	Erläuterung von Sachverhalten	Klassifizierung Gruppierung	Zusammenhänge	W. Atmosphäre, Veranschaulichung
<b>Akustik</b>	-	Merkmal Besonderheit	Erläuterung von Sachverhalten	-	-	Aufmerksamkeit

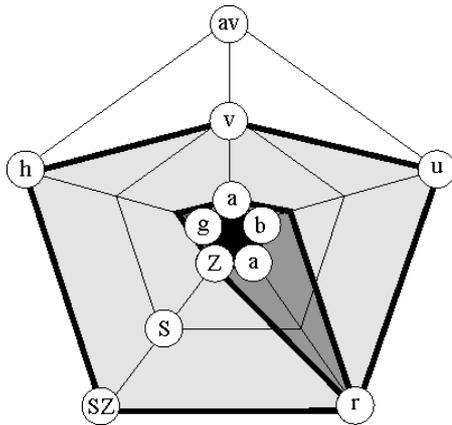
Tab. 5-10: Kombinationen ausgewählter Informationsdarstellungsformen und ihre Bedeutung. Interpretation: Die Elemente der Spalte 1 verweisen auf die Elemente der Zeile 1

Eine weitere Hilfe für die Analyse von Medienkombinationen sind die Merkmalsdiagramme. Sie zeigen durch ihre Kombination auf, welche Einflussgrößen redundant oder komplementär wirken. Nachfolgend sind einige Beispiele dafür angegeben.

#### *Kombination von Bild und Zeichen*

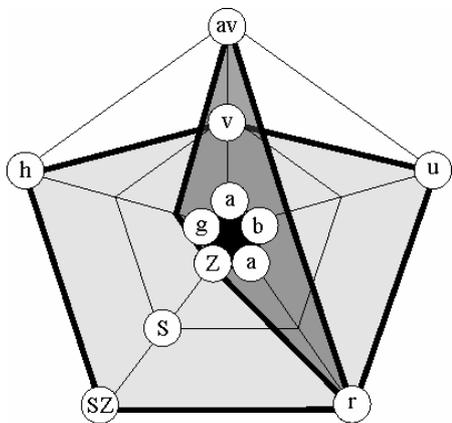
In diesem Beispiel zeigen sich Unterschiede in der Abstraktheit und der Verknüpfbarkeit. Das Bild (hellgrauer Bereich) kann daher gut Signaturen (dunkelgrauer Bereich) durch realistische Informationen ergänzen. Bild und Signatur können jeweils als Start- und Zielmedium dienen. Aufgrund der Merkmale entstehen keine Darstellungskonflikte. Die Darstellungsformen können abwechselnd betrachtet werden und sind zeitlich uneingeschränkt verfügbar.

#### Kombination von Bild und Sprache



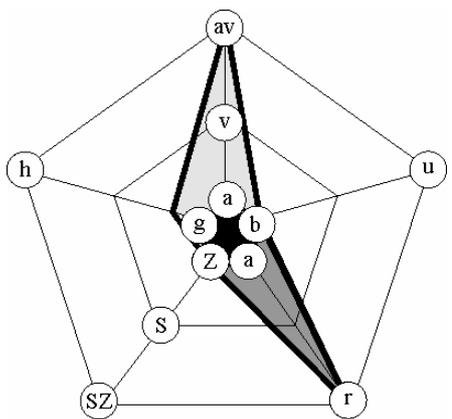
Die Sprache (dunkelgrauer Bereich) ergänzt als realistisches Darstellungsmittel das Bild und vermittelt Erläuterungen. Die Perzeption der Sprachinformation ist zeitlich begrenzt und kann durch Interaktion, z. B. zum Zwecke der Wiederholung gesteuert werden. Aufgrund der Simultanbelastung unterschiedlicher Sinneskanäle ergibt sich kein Darstellungskonflikt. Zudem ist das Bild unbegrenzt verfügbar.

#### Kombination von Bild und Videodarstellung



Eine Videosequenz (dunkelgrauer Bereich) ergänzt das Bild um audio-visuelle Informationen. Der Sehsinn wird dadurch hoch belastet. Da die Audioinformation mit der Videosequenz gekoppelt ist, erfordert sie die höchste Aufmerksamkeit und wird in der Perzeption gegenüber dem Bild bevorzugt. Da das Bild uneingeschränkt verfügbar ist entstehen keine Konflikte. Die Perzeption der Elemente erfolgt jedoch sequentiell oder im Wechsel, so dass zusätzlicher Zeitbedarf besteht.

#### Kombination von Film und Sprache



Diese Kombination kann als komplexes Zielmedium von einem anderen Medium aus aufgerufen werden. Es besteht die Notwendigkeit zur *Synchronisation*, da beide Medien sich über die Zeit verändern und zugleich nur zeitlich eingeschränkt verfügbar sind.

#### 5.6.4.3 Bemerkungen zur Informationsüberfrachtung

Ein häufig auftretendes Problem der multimedialen Informationsvermittlung ist die Überflutung des Rezipienten mit Reizen bzw. Informationen. Dies Phänomen wird auch als *Kognitive Überlast* bezeichnet (Tergan 1995). Das Problem tritt auf, wenn die Menge der zu verarbeitenden Informationen die verfügbare Gedächtniskapazität übersteigt oder die

dafür zur Verfügung stehende Perzeptions- und Bearbeitungszeit nicht ausreicht (Kap. 3 und 4).

Eine gute multimediale Gestaltung ist daher vor allem dadurch gekennzeichnet, dass die für die Lösung einer Aufgabe benötigten Informationen einerseits *einfach aufgefunden* werden, andererseits auch *problemlos perzipiert und kognitiv verarbeitet* werden können. Norman (1991) behandelt diesen Gedanken unter besonderer Berücksichtigung des *Bildschirm- und Menüdesigns* und identifiziert drei zu beachtende Schwerpunkte:

1. *Informationsmenge im Verhältnis zur Kognitionszeit*: Die Schwierigkeit eine Informationsmenge zu analysieren und eine Zielinformation zu finden steigt mit dem Umfang der dargebotenen Informationen. Eine geringe Kognitionszeit setzt daher einen geringen Menü- und Informationsumfang voraus, der durch Ordnung, Gruppierung und Klassifikation erreicht werden kann.
2. *Erfahrungen im Verhältnis zum Erklärungsbedarf*: Unerfahrene Systembenutzer benötigen detaillierte Erläuterungen der Menüeinträge. Dies erhöht die Kognitionszeit und zugleich die Bediensicherheit. Erfahrene Benutzer hingegen können von ihrem episodischen Wissen profitieren. Die Menübezeichnungen dienen als Hinweisreize und rufen Gedächtnisschemata auf. Detaillierte Erklärungen werden nur selten benötigt.
3. *Informationsmenge im Verhältnis zur Anzahl der Informationsfenster*: Die Reduktion von Informationen je Informationsfenster erfordert bei konstanter Informationsmenge die Erhöhung der Fensteranzahl. Dadurch steigen die Komplexität und zugleich die kognitive Belastung. Sowohl erfahrene als auch unerfahrene Benutzer benötigen längere Verarbeitungszeiten, da auf die Fenster zugegriffen werden muss.

Die Ursachen für die Informationsüberfrachtung resultieren vor allem aus

1. hoher Navigations- und Orientierungskomplexität verbunden mit geringer Informationstransparenz und Bearbeitungszeit,
2. unsachgemäßer Gestaltung und Kombination von Informationsdarstellungsformen und
3. fehlerhafter Einschätzung des Wissens und Könnens der Zielgruppe.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Berücksichtigung des Weltwissens, des deklarativen Wissens und des davon abhängigen Zeitbedarfs für die kognitive Informationsverarbeitung. Zusätzlich verfügt der Rezipient über episodisches und prozedurales Wissen und über eigene Lern- und Suchstrategien. Werden diese Schemata nicht unterstützt oder mangelt es an interaktiven Hilfsmitteln für den individuellen Wissenserwerb, so werden Lernvorgänge besonders erschwert. Dies trifft besonders für Informationen zu, die für den Rezipienten *neu* sind. Klimsa (1995) schlägt daher vor, sie vor dem Erscheinen anzukündigen. Da „neu“ jedoch ein subjektives Merkmal ist, dürfte dieser Ansatz nicht leicht umzusetzen sein.

Informationsüberfrachtung tritt auch dann auf, wenn wichtige Informationen die Aufmerksamkeitsschwelle des Rezipienten nicht überschreiten können. Ursache hierfür kann einerseits die Überlastung des KZG sein, aber auch zu gering ausgeprägte Unterschei-

dungsmerkmale von Informationsdarstellungen im Vergleich mit anderen Informationsdarstellungsformen.

Eine besondere Gefahr bergen *zeitabhängige Informationsdarstellungen*, wie z. B. Sprache, Musik oder Filme. Eine zu hohe Informationsdichte in Verbindung mit einer zu kurzen Präsentationszeit führt zur Überforderung des Wahrnehmungssystems und zum Informationsverlust. Darüber hinaus erfordert eine adäquate multimediale Informationsvermittlung die Berücksichtigung von Wissensbildungsmechanismen (4.3.7). Werden sie missachtet, so muss der Rezipient logische Konsequenzen und Zusammenhänge selbst mental erarbeiten. Damit steigt die kognitive Belastung einerseits und die Belastungsgrenze des KZG wird erreicht. Als Folge davon sinkt die Informationsaufnahme und -verarbeitung. Zusammenfassend lassen sich folgende allgemeinen Regeln für eine wahrnehmungsgerechte Gestaltung anführen:

1. Nutzercharakteristika beachten
2. Kognitive Medienwirkungen berücksichtigen
3. Objektive Medienfunktionen beachten
4. Redundanz- und Komplementaritätsprinzipien beachten
5. Zeitabhängige Medien synchronisieren
6. Kognitive Verarbeitungszeit berücksichtigen
7. Semantische Gruppen bilden
8. Neue Informationen ankündigen
9. Visuelle Reize sprachlich benennen
10. Adaptivität durch Interaktivität gewährleisten

Abschließend ist zu bemerken, dass trotz einer sachgerechten Gestaltung Informationsüberfrachtung auftreten kann. Sie ist in diesem Fall auf eine ungenügende Systemadaptivität zurückzuführen. Das System muss den individuellen Gewohnheiten des Nutzers angepasst werden. Voraussetzung dafür ist jedoch die Systemfähigkeit, den Benutzer zunächst zu klassifizieren und sich dann ihm anzupassen. Als Alternative zu dieser noch nicht gelösten Fragestellung muss ein Höchstmaß an Informationstransparenz und Interaktivität bereitgestellt werden.

## 6 Beispiele für die Gestaltung kinematographischer und dynamischer Sekundärmodelle der Umwelt

### 6.1 Vorbemerkungen

Besondere Impulse für die Gestaltung kartographischer Sekundärmodelle gehen von dem *hohen Leistungsstand der 3D-Computergaphik* aus. Dieser Sachverhalt ist aus wahrnehmungstheoretischer Sicht vor allem begründet in der hohen Anschaulichkeit perspektivischer Abbildungen. Darüber hinaus finden sich alle Klassifikationsmerkmale nach Abschnitt 5.6.3 wieder, von akustischen Darstellungsmöglichkeiten bis zum hohen Interaktivitätsgrad dynamischer perspektivischer Darstellungsformen, die individuellen Informationsgewinn zulassen. Die kartographische Darstellung räumlicher Strukturen und zeitlicher Abläufe wird technisch und gestalterisch revolutioniert (vgl. 5.2.2.2, 6.2.2.8, 5.6, Buziek u. Döllner 1999, Döllner 2000). In der digitalen Atlaskartographie ist sie insbesondere für topographische Darstellungen bereits etabliert (Hurni u. a. 1999). Zugleich bedeutet der Einzug dieser Technologie in Kartographie und Geoinformatik auch die Grundsteinlegung für neue Forschungsbereiche, z. B. *Immersive* und *Augmented Reality*. Für das Gebiet der ***kartographischen Animationen*** ist u. a. mit den Arbeiten von *Moel- lering* (1980), *Koussoulakou* (1990), *Dorling* (1992), *ICA* (1996), *Kraak u. a.* (1997), *Dransch* (1995/97a), *Buziek* (1997a/2000), *Buziek u. a.* (2000) bereits ein recht guter wissenschaftlicher Stand erarbeitet worden. Im Rahmen der Arbeiten an der vorliegenden Schrift ist dazu mit Überlegungen zur *audio-visuellen Gestaltung kartographischer Filme* (Buziek 1997a, 1998), zur *Legendengestaltung in kartographischen Animationen* (Buziek 1997c/2000) und zu ihrer *wahrnehmungstheoretischen Bewertung* sowie zur *Interaktion* (Buziek 2000) beigetragen worden. In diesem Kapitel werden diese Aspekte daher nur zusammenfassend behandelt, um den Bezug zu den aktuellen Entwicklungen, insbesondere zu dem in dieser Arbeit vorgeschlagenen multimedialen Zeichen- und Variablen- system herzustellen (Abschnitt 6.2).

Im Abschnitt 6.3 wird ausführlich auf die Konzeption, Implementierung und Gestaltung einer ***dynamischen kartographischen Ausdrucksform*** eingegangen, die einerseits als ergänzendes Ausdrucksmittel in einem MM-KIS verwendet werden kann und andererseits als singuläre Anwendung die virtuelle Erfahrung von räumlichen Sekundärmodellen der Umwelt zulässt und die zugleich die Basis ist für zukünftige Untersuchungen von immersiven und realitätsverstärkenden Ausdruckformen (vgl. Buziek u. Döllner 1999).

### 6.2 Beispiele für die Gestaltung kinematographischer Darstellungs- formen

#### 6.2.1 Vorbemerkung

In diesem Abschnitt wird beispielhaft die Gestaltung von ***temporalen Animationen*** erläutert, da sie für die kartographische Visualisierung raumzeitlicher Prozesse die größte Bedeutung besitzen. Beispiel 1 (CD-Beispiele 4 und 5) behandelt *topographische* Gestaltungsüberlegungen zur Animation eines Überflutungsereignisses und im Beispiel 2 (CD-Beispiel 6) wird auf *thematische* Gestaltungsvorschläge zur Visualisierung von Verkehrs-

belastungswerten eingegangen. Dem Leser wird die vorherige Betrachtung der auf der beiliegenden CD-ROM gespeicherten Animationen empfohlen.

## **6.2.2 Entwurf und audio-visuelle Gestaltung der kartographischen Animation eines Überflutungsereignisses**

### **6.2.2.1 Inhalt und Zielgruppe**

Die Animation ist im Rahmen eines Forschungsprojektes zur ökologisch orientierten Fließgewässerplanung entstanden (Lenk, Grünreich, Buziek 1997, Buziek 1997a, 1998). Zielsetzung war, Betrachtern eine anschauliche Einführung in die Prozesscharakteristika und das Gefahrenpotential einer Überflutung des Leinetals südlich von Hannover zu geben. Als Zielgruppe wurden Personen angenommen, die über einen unterschiedlichen fachlichen Hintergrund und unterschiedliches Weltwissen verfügen.

### **6.2.2.2 Gestaltungsüberlegungen**

Unter Berücksichtigung der Zielgruppe wurde das kartographische Zeichensystem betont einfach gehalten und nur mit den zum Verständnis notwendigen Informationen versehen. Die damit einhergehende Verringerung des Abstraktionsgrades wurde erzielt durch eine realitätsnahe perspektivische Darstellung in Verbindung mit der Simulation von Licht und Schatten. Dadurch werden die *natürlichen Wahrnehmungserfahrungen* intuitiv angesprochen und die Bildung eines mentalen Tertiärmodells des Gebiets wird effizient unterstützt (vgl. Kap.4).

Im Hinblick auf eine *nachhaltige Informationsvermittlung* wurden die akustischen Ausdrucksformen Musik und Sprache verwendet. Sie dienen der Vermittlung von kartographischem Vorwissen über die Farbgestaltung, der Verstärkung des Wahrnehmungseindrucks und der Betonung von wichtigen Merkmalen des Überflutungsprozesses. Durch die Synchronisation von visueller und auditiver Information können einerseits abstrakt-reale Zusammenhänge hergestellt, andererseits graphisch nicht darstellbare Zusatzinformationen vermittelt werden. Das Wahrnehmungssystem des Menschen wird besser ausgelastet und durch die zusätzliche Verwendung des akustischen Kanals können mehr Informationen in der gleichen Zeit übertragen werden.

### **6.2.2.3 Gesamtentwurf und Gestaltungsprinzipien**

Der Entwurf wurde mit Hilfe eines *Drehbuchs* konzipiert (vgl. Dransch 1997a). Es folgte der Aufbau eines digitalen Datenmodells bestehend aus relief- und wasserflächenbeschreibenden Vektordaten. Sie wurden ergänzt durch kartographisch gestaltete Rasterdatensätze und mittels Verfahren der dreidimensionalen Computergraphik in Animationssequenzen umgerechnet (Buziek 1997a). In *technischer Hinsicht* ergab sich ein *iterativer Prozess* bestehend aus den folgenden Komponenten:

- *inhaltliche Festlegung* einzelner Animationssequenzen,
- *zeitliche und graphische Gestaltung* einzelner Animationssequenzen,

- *Einzelbildberechnung,*
- *Gestaltung der zeitlichen Reihenfolge* der Animationssequenzen,
- *Beurteilung des Gesamtentwurfs* anhand der zeitlichen Abfolge der Sequenzen und
- *akustische Gestaltung.*

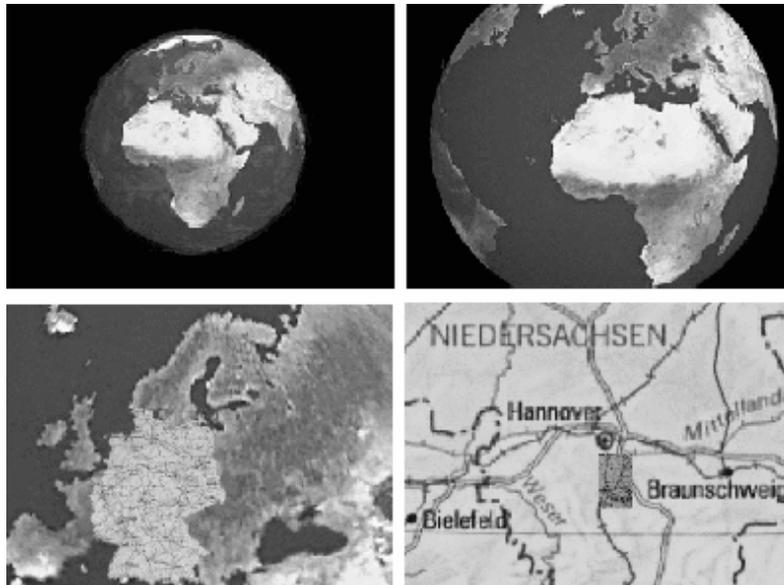


Abb. 6-1: Logische Maßstabsfolge als Beispiel für die Informationsstrukturierung (CD-Beispiel 4a)

Mit Animationen sind Einschränkungen verbunden, die hohe Anforderungen an die audiovisuelle Gestaltung stellen. Der wichtigste Einfluss geht in dieser Hinsicht von dem *festen zeitlichen Ablauf* einer Animation aus. Er lässt darüber hinaus durch Interaktivität der Stufe 1 nur eine eingeschränkte Objektselektion zu (5.5.3.3, Tab. 5-8), so dass die Wahrnehmungsmechanismen des *erhaltenden* und *elaborierenden Wiederholens* nur bedingt angewendet werden können (4.3.7.4). Aus diesen Gründen kommt der *Lenkung der Betrachter* eine hohe Bedeutung zu, die durch eine klare und logische Informationsstrukturierung erfolgen kann (vgl. 4.3.7, Abb. 6-1). Sie kann nach dem *Redundanzprinzip* der Wissensbildung verstärkt werden durch komplexe Klänge (Sprache, Musik) und ihre *Synchronisation* mit der animierten Graphik (vgl. 4.3.4.1, 4.3.7.4, 5.4.5.1, Tab. 5-6).

Die *akustische Gestaltung* der Animation erfolgt nach der Fertigstellung und dem Schnitt der Animationssequenzen. Zuvor ist eine Vertonung nicht sinnvoll, da Änderungen in der graphisch-zeitlichen Gestaltung stets eine Neuvertonung bewirken würden. In diesem Beispiel besteht das akustische Design der Animation ausschließlich aus Musik- und Sprachpassagen. Auf eine durchgängige Hintergrundmusik wurde bewusst verzichtet, da bereits nach wenigen Sekunden *Gewöhnungseffekte* auftreten und sie zu keinem Informationsgewinn führen. Lediglich in kurzen Sequenzen wird Musik in der Animation eingesetzt. Dies ist zu Beginn der Fall um *Aufmerksamkeit* zu erzeugen und Interesse zu bewirken (CD-Beispiel 4a). Zu diesem Zweck wird eine allgemein bekannte Musikpassage verwendet, die Schemata aktiviert und Antizipationen auslöst. Der *Aufmerksamkeits-effekt* wird dadurch verstärkt und auf die Titelangabe zur *Schaffung des Wissensrahmens* gelenkt (5.5.4.1).

Sequenzen, die relativ wenig visuelle Aufmerksamkeit erfordern, wie z. B. der Übergang von der Erdkugel auf das Überflutungsgebiet, werden mit inhaltsreichen Textpassagen ergänzt. Sie weisen einen gewissen Bildbezug auf, so dass die Prinzipien der *doppelten Enkodierung* und der *komplementären Wissensbildung* realisiert sind (CD-Beispiel 4a).

Die Darstellung der separaten Legenden wird durch Sprachinformationen ergänzt, die nach dem *Redundanzprinzip* wissensbildend wirken (CD-Beispiel 4b). Dadurch können Momente visueller Unaufmerksamkeit abgefangen und die Sicherheit der Informationsübertragung erhöht werden. Die bekannten Landschaftsobjekte werden nun in einen räumlichen Zusammenhang gebracht und als perspektivisches Landschaftsmodell dargestellt. Es wird durch akustische Legendeninformationen ergänzt, die die Ausdehnung und die Überhöhung beschreiben. Während der nun folgenden Flugsimulation vermittelt ein Musikstück räumliche Weite und damit den Landschaftseindruck. Zudem wird die *Bildung einer 3D-Repräsentation* nach *Marr* durch diese Sequenz gefördert, da die Landschaft aus unterschiedlichen Perspektiven betrachtet wird (4.3.3, CD-Beispiel 4c).

Die nun folgende Darstellung der Flutsimulation wird ebenfalls durch Musik unterstützt, die zur Animationssequenz interpretiert wurde und sich vom bisherigen Klangbild abhebt. Dies erzeugt Aufmerksamkeit in Verbindung mit dem Hinweis auf ein bestimmtes Thema (Tab. 5-9, 5.4.5.2). Durch Variation der Lautheit wird das Ansteigen des Wasserspiegels akustisch verdeutlicht und zum Hochwasserzeitpunkt nochmals durch ein weiteres Instrument verstärkt (Tab. 5-9, 5.4.5.2). Der langsame Flutrückgang wird durch synchrone Rhythmusänderungen akustisch veranschaulicht. Insgesamt wird das *emotionale Empfinden* angesprochen, so dass die Nachhaltigkeit des erworbenen Wissens gefördert wird. In einem lokalen Gebietsausschnitt wird die Überflutungsdarstellung wiederholt (CD-Beispiel 4c/d).

Bei der Wahl der Musikstücke wurde stets auf *Wohlklang* geachtet, um eine angenehme Wahrnehmungsatmosphäre zu erzeugen (3.3.5.6). Sie wurden stets eingesetzt, um Impressionen zu vermitteln und den Wahrnehmungseindruck zu verstärken. Zudem schaffen sie weitere Assoziationsmöglichkeiten und sind damit Hinweisreize auf die übermittelte Information, so dass der spätere mentale Zugriff darauf verbessert wird. Der Abspann mit allgemeinen Informationen beendet den Film (CD-Beispiel 4e).

#### 6.2.2.4 Das Variablensystem der Animation

Die Graphik der Animation besteht vorwiegend aus Linien mit bandhafter Signaturierung, Flächen und Texten. Wichtigster Parameter ist die *Farbe*, die zur Darstellung von Quantitäten verwendet wird. Bei der farblichen Darstellung der veränderlichen Wasseroberfläche wird zudem das Farbmerkmal *Transparenz* benutzt. Da es trennend auf der Nominalskala wirkt, wird es eingesetzt zur kurzfristigen Visualisierung der zum Hochwasserzeitpunkt von der Flut beeinträchtigten Gebiete (Visualisierung von Qualitäten, Tab. 5-5, 5.4.3).

Die Variablen *Größe*, *Richtung* und *Form* dienen an unterschiedlichen Stellen der Animation zur Darstellung von *räumlichen Veränderungen*. Sie werden im Gegensatz zur thematischen Kartographie nicht zur Signaturendarstellung genutzt, sondern zur *Navigation* im *dreidimensionalen Modellraum*. So verändert sich zum Beispiel die *Größe* des subjektiv wahrgenommen perspektivischen Landschaftsmodells aufgrund der Veränderung der

Position einer fiktiven Kamera. Davon beeinflusst wird auch die *Orientierung* oder *Richtung* des Landschaftsmodells, das während einer Überflugsimulation aus unterschiedlichen Perspektiven präsentiert wird.

Die Variable *Form* wird in zweierlei Weisen verwendet. In einer Sequenz wird sie eingesetzt, um die *Reliefformen im Untersuchungsgebiet herauszustellen*, und zwar durch eine kontinuierliche Veränderung des Überhöhungsfaktors. In einer anderen Sequenz ergibt sich eine linienhafte Formveränderung durch die Verschneidung der digitalen Wasseroberflächen mit dem digitalen Landschaftsmodell. Sie veranschaulicht den zeitlichen Verlauf des *Überflutungsprozesses*.

Die *Veränderungseigenschaften* beeinflussen nicht nur die visuellen Merkmale der graphischen Variablen. Sie können ebenso herangezogen werden um *graphische Gefüge* – z. B. die gesamte Animation – zu beschreiben. Der *Zeitpunkt* einer Veränderung beschreibt z. B. die zeitliche Lage von thematisch abgeschlossenen Sequenzen in der Gesamtanimation. Er kann aber auch benutzt werden, um *Veränderungen* innerhalb von Sequenzen festzulegen, z. B. die Zeitpunkte der Einblendung vom Animationstitel, den Ortschaftsnamen und der Legendenobjekte.

Das Merkmal *Dauer* beschreibt sowohl die gesamte Animation als auch einzelne Sequenzen, Prozesse und Objekte. Die *Dauer* wird bestimmt durch den realzeitlichen Ablauf von Prozessen, durch die Wahrnehmungskapazität der Rezipienten und durch Komplexität und Umfang der zu vermittelnden Inhalte. Sie wird zunächst festgelegt für die Präsentation visueller Inhalte und ist damit ein wichtiges zeitliches Gestaltungsmerkmal, das in nicht unerheblichem Maße auch die spätere *akustische Gestaltung* der Animation beeinflusst.

Das Veränderungsmerkmal *Reihenfolge* wird durch die Anwendung der hier aufgezeigten Gestaltungsüberlegungen bestimmt. Dieses Merkmal ist daher eine ergebnisbeschreibende Größe, die im Sinne einer Verteilung zu interpretieren ist. Diese Verteilung beschreibt die sich aus der Reihung von Szenen und Sequenzen ergebenden Änderungen im zeitlichen Verlauf. Es ist daher Ausdruck für die Effizienz und Nachhaltigkeit der Informationsvermittlung.

Die *Veränderungsintensität* ist ein wichtiges Merkmal der Aufmerksamkeitssteuerung, aber auch der thematischen Gliederung. In der hier besprochenen Animation wird die Veränderungsintensität zur *Gestaltung der Sequenzübergänge* (Transitionen) genutzt. Bei sich ergänzenden Sequenzen sind die Transitionen von geringer Veränderungsintensität geprägt und besitzen eine *verbindende Funktion*; wird ein neues Thema vorgestellt, treten deutliche Unterschiede auf, die eine *Sequenztrennung* bewirken. Die *Veränderungsfrequenz* wurde nicht verwendet, da keine periodischen Veränderungen in den Filmsequenzen auftreten.

Am Beispiel der simultanen Darstellung des Überflutungsprozesses und der eingeblendeten Wasserstandsganglinie wird die Funktion des Merkmals *Synchronisation* deutlich, mit dem hier ergänzende Informationen zur Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Überflutung vermittelt werden.

Diese Betrachtungen zeigen, dass das erweiterte Variablensystem nicht nur auf thematische kartographische Darstellungen anwendbar ist. Es ist auch geeignet für die Be-

schreibung topographisch dominierter Darstellungsformen, die zeitliche Abläufe umfassen und zudem akustisch unterstützt sind.

#### 6.2.2.5 *Aufmerksamkeitssteuerung und die Vermittlung von Legendeninformationen*

Sowohl in Karten als auch in kartographischen Animationen bedürfen die dargestellten Objekte der zusätzlichen Erläuterung. Für diesen Zweck werden in Karten die Randangaben und die Legende benutzt.

Die Bedeutung und Gestaltung von Legenden wurde bislang hauptsächlich für analoge und statische Karten diskutiert (z. B. DeLucia u. Hiller 1982, Freitag 1987, Hake u. Grünreich 1994, Schlichtmann 1997). Erst wenige Beiträge befassen sich mit der Verwendung und Gestaltung von Legenden in kinematographischen oder dynamischen Darstellungsformen (z. B. Kraak u. a. 1997, Buziek 1997c, 2000).

Aus der Sicht der Wahrnehmung erfüllen Legenden in kartographischen Animationen zwei wichtige Aufgaben. Sie ermöglichen einerseits die *Generierung von Vor- bzw. Codewissen* und erzeugen dadurch einen *Wissensrahmen*. Lernprozesse werden dadurch besonders unterstützt. Andererseits *erläutern* sie raum-zeitliche und thematische Sachverhalte, so dass das Lesen und Interpretieren von Sachverhalten gefördert wird (*Erläuterungsfunktion*).

In kartographischen Animationen treten zwei wesentliche Erscheinungsformen von Legenden auf. Sie können entweder *separat* in Form einer eigenen Animationssequenz dargestellt werden, oder sie erscheinen *integriert* im Zusammenhang mit weiteren raumzeitlichen Informationen (Buziek 2000). Im Vergleich mit den Legenden topographischer oder thematischer Karten kann der Betrachter nicht individuell auf Legendeninformationen in Animationen zugreifen, so dass der *Fokussierung der Aufmerksamkeit* auf Legendeninformationen eine große Bedeutung zukommt.

Gemäß Kap. 3 u. 4 kann Aufmerksamkeit durch *Bewegung* sowie *visuelle* und *akustische Reize* extern gesteuert werden. Wichtig ist, dass sich letztere deutlich von anderen Marginalreizen unterscheiden. Bei der Gestaltung ist daher stets der gesamte Darstellungsbereich zu berücksichtigen.

Als Beispiel für die Anwendung dieses Grundprinzips werden zunächst die Überlegungen zur Gestaltung *separater Legenden* für die Vermittlung von Informationen zur Flächennutzung dargestellt.

Die subjektive Bewertung der Auswirkungen des Überflutungsprozesses kann für das Untersuchungsgebiet nur mit Kenntnis der Flächennutzung erfolgen, so dass diese Informationen gezielt und besonders sorgfältig zu vermitteln sind. Es muss sichergestellt sein, dass der Betrachter über diese Informationen verfügt. Die Verwendung von separaten Legenden bietet in dieser Hinsicht den Vorteil, dass der Betrachter nicht durch andere Informationen abgelenkt wird. Nachteilig ist jedoch der zusätzliche Zeitbedarf, den dieser Legendentyp in einer kartographischen Animation erfordert. Er steigt proportional zur Anzahl der zu erläuternden Objekte an.

Aufgrund der physiologischen und wahrnehmungstheoretischen Grundlagen (z. B. Begrenzung der Wahrnehmungskapazität und Betrachtungszeit; Kap. 3) und der technischen Randbedingungen wurde die Objektvielfalt des verfügbaren digitalen Land-

schaftsmodells für die Darstellung auf die häufigsten und wichtigsten Nutzungsarten (Siedlungen, Industrie, Wald, Grün- und Ackerland, Wege und Gewässer) reduziert. Die Anzahl unterschiedlicher Informationseinheiten liegt damit in dem von *Card u. a.* (1989) geforderten Bereich und ist abgestimmt auf die maximale Anzahl von Informationseinheiten des Kurzzeitgedächtnisses (4.3.7).

Die Darbietungsdauer ist an der zeitlichen Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses orientiert. Binnen 10 bis 30 Sekunden muss der Betrachter die Information wahrnehmen, verarbeiten und in das Langzeitgedächtnis (LZG) übernehmen (4.3.7). Aus dem LZG werden die Legendeninformationen abgerufen, wenn sie im weiteren Verlauf der Betrachtung benötigt werden. Es kann auch in Form eines Bottom-Up-Prozesses Wiedererkennung erfolgen.

Voraussetzung dafür ist, dass der Betrachter der Information *Aufmerksamkeit* entgegenbringt. Sie kann erzielt werden durch *akustische Anweisungen*, durch eine besonders *interessante Gestaltung* oder den *Ausschluss marginaler Informationen*.

Das Animationsdesign enthält daher *separate Legendensequenzen*, die gezielt für die Vermittlung von Kenntnissen über die Darstellung des Überflutungsraumes eingesetzt werden. Sie sind *interessant* und *neuartig* gestaltet, damit *Aufmerksamkeit* und *Fokussierung* seitens des Betrachters sichergestellt werden können. Zugleich wurde jegliche Ablenkung durch Reduktion auf Mindestinformationen vermieden, so dass diverse Gedächtnisprozesse durch die Gestaltung unterstützt werden. Mit dieser Zielsetzung wurden unterschiedliche Entwürfe für die Legendenvermittlung in kartographischen Animationen hergestellt, deren detaillierte Beschreibung bei *Mentz* (1997) und *Buziek* (2000) nachgelesen werden kann.

Die vier Entwürfe zeigt Abbildung 6-2. *Entwurf 1* (CD-Beispiel 5a) basiert auf der *sequentiellen Hervorhebung von Objekten* durch Verdunklung des Hintergrundes. *Räumliche Strukturen* werden dadurch besonders betont. *Entwurf 2* (CD-Beispiel 5b1/2) wird von *DeLucia* und *Hiller* (1982) auch als *natürliche Legende* bezeichnet. Der Begriff resultiert aus der Idee, die Kartenobjekte auch in der Legende so darzustellen, wie sie in der Karte vorgefunden werden. Bei einer großen Anzahl zu bezeichnender Objekte versagt diese Darstellung aufgrund von Darstellungskonflikten. Im *Entwurf 3* (CD-Beispiel 5c) wird ein Scheinwerferkegel simuliert. Er wirkt auf den Betrachter besonders attraktiv, da mit ihm aufgrund der allgemeinen Umwelterfahrung häufig interessante Dinge betont und hervorgehoben werden. *Entwurf 4* (CD-Beispiel 5d) wurde u. a. entwickelt mit dem Ziel, *Aufmerksamkeit* und *Interesse* zu wecken und zugleich *Farbverfälschungen zu vermeiden*. Die Objektkennzeichnung erfolgt durch eine Lupe, die die in assoziativen Farben dargestellten Objekte durch Vergrößerung hervorhebt.

*Heidmann* (1999) verwendet zu den Beispielen 5a bis 5d ähnliche Gestaltungsmerkmale zur Betonung von Objekten in interaktiven Karten. Anhand empirischer Untersuchungen konnte von ihm der Nachweis erbracht werden, dass *informationsbetonende Gestaltungsmaßnahmen sich positiv auf Suchprozesse auswirken*, so dass die Kommunikationsleistung aufgrund geringeren Suchaufwandes gesteigert werden konnte.

Die Funktion *integrierter* Legendendarstellungen ist die simultane Vermittlung ausgewählter Zusatzinformationen, die zum korrekten Verständnis eines raum-zeitlichen Prozesses notwendig sind. Ihr Vorteil ist, dass *kein zusätzlicher Zeitaufwand* für ihre Darbietung erforderlich ist. Nachteilig ist jedoch, dass sie simultan zu einem zeitlich verlaufenden Prozess dargestellt werden. Wird zusätzlich berücksichtigt, dass vom gesamten Bildschirm nur ein mittig angeordneter Bereich ständig binokular sichtbar ist, so ergibt sich die *Notwendigkeit des Blickwechsels* zwischen der animierten Darstellung eines Prozesses und der Legende. Hierbei muss besonders berücksichtigt werden, dass während des Blickwechsels, der insgesamt ca. 500 msec erfordert, die Legende gelesen und interpretiert werden muss.

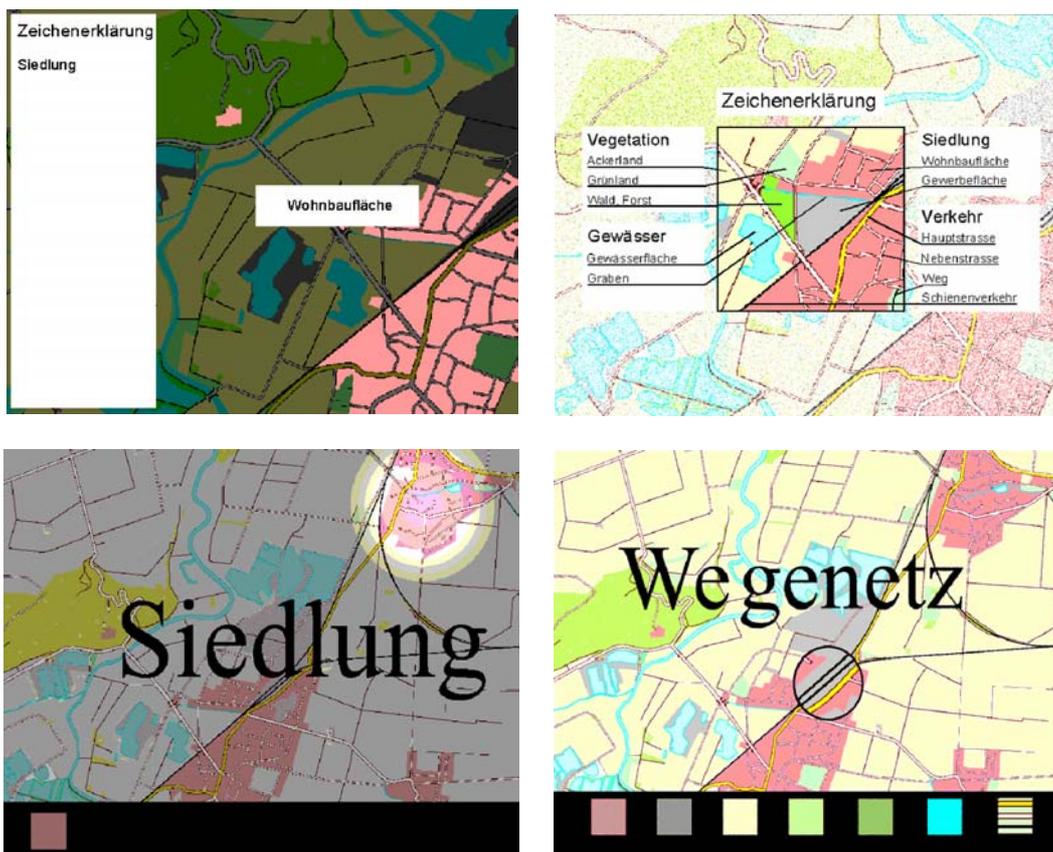


Abb. 6-2: a) Hervorhebung von Objekten durch Hintergrundverdunklung (CD-Beispiel 5a)  
 b) Natürliche Legendendarstellung mit eingblendeten Objektbezeichnungen (CD-Beispiel 5b)  
 c) Hervorhebung von Objekten durch Simulation eines Lichtkegels (CD-Beispiel 5c)  
 d) Hervorhebung von Objekten durch Simulation einer Lupe (CD-Beispiel 5d)

Da von einem sich wiederholenden Blickwechsel auszugehen ist, sollte die *Wiedererkennung* besonders unterstützt werden und die Legende wenige Änderungen aufweisen. Dies kann besonders effizient durch wenige und einfache Zeichen geschehen, z. B. durch Kombination der Wasserstandskurve mit dem Balkendiagramm in Abb. 6-3. Die integrierte Legende ist dadurch übersichtlich und kann schnell wiedererkannt werden. Dennoch verbleibt bis zur Klassifizierung der Legendeneinformation eine weitere Zeitspanne von ca. 500 msec für kognitive Verarbeitungsprozesse, so dass für einen Blick-

wechsel inklusive der kognitiven Informationsverarbeitung ca. 1 sec. zu veranschlagen ist. Während dieser Zeit muss gewährleistet sein, dass keine wichtigen Informationen des dargestellten raum-zeitlichen Prozesses übersehen werden können.

Im vorliegenden Beispiel der Überflutungsdarstellung liegen berechnete Wasseroberflächen in Tagesintervallen vor, dazwischen wurde interpoliert. Trotz Blickwechsel und Entnahme von Legendeninformation sollte gewährleistet sein, dass der Betrachter zumindest die Tagesintervalle sicher erkennen kann. Der Zeitmaßstab (Darstellungszeit : Realzeit) muss daher größer sein als die für den Blickwechsel und die kognitive Verarbeitung veranschlagte 1 sec.! Zugleich ist darauf zu achten, dass die Veränderungsgeschwindigkeit als angenehm empfunden wird. Dies ist gewährleistet, wenn maximal bis zu drei deutliche Veränderungen pro Sekunde erfolgen. Wenn sichergestellt werden soll, dass trotz Blickwechsel zur Legende in 1-Tagesintervallen die Wasserspiegellage sicher erkannt werden soll, so sollte die Darbietungsdauer eines Tagesintervalls mindestens das Dreifache der Blickwechselzeit, also 3 Sekunden, betragen. Daraus ergibt sich ein Zeitmaßstab von  $3 : (24 \cdot 3600) = 1 : 28800$ . Experimentell wurde der Zeitmaßstab der Überflutungsanimation auf ca. 1:43200 festgelegt. Die Darbietungsdauer eines Tagesintervalls liegt mit 2 Sekunden um 1/3 niedriger als theoretisch veranschlagt.

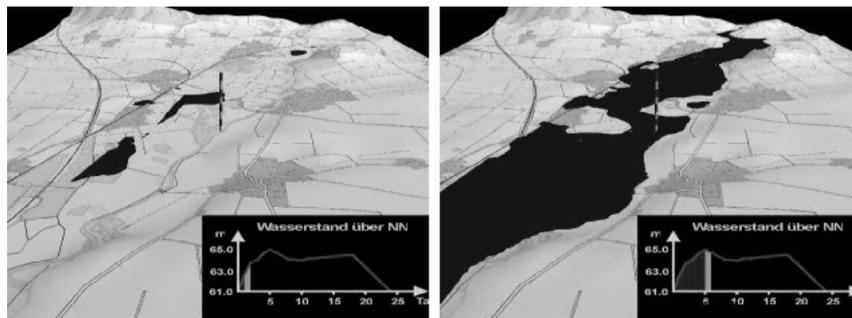


Abb. 6-3: Szenen aus der Überflutungsanimation des Leinetals. Das Diagramm übernimmt die Funktion einer integrierten Legende. Es informiert über den Wasserstand pro Tag.

### 6.2.3 Kartographische Animation von Verkehrsströmen im Großraum Hannover als Beispiel für die Veränderung von graphischen Variablen

#### 6.2.3.1 Vorbemerkungen

Im Abschnitt 6.2.2 wurde die Gestaltung eines *kartographischen Films* beschrieben, dessen Ziel es ist, als *singuläre Anwendung* umfassend über einen bestimmten Sachverhalt zu informieren.

In diesem Abschnitt soll hingegen der Entwurf von kartographischen Animationen beschrieben und bewertet werden, die für die *Integration in ein multimediales Auskunftssystem* vorgesehen sind. Den Rahmen dafür spannt die von *Emmerich* (1998) beschriebene Konzeption eines Auskunftssystems für die Verkehrsentwicklungsplanung auf. Es umfasst die Eingangsdaten (Strukturgrößen) für die Simulation von Verkehrsströmen und stellt sie in ihrem raumbezogenen Zusammenhang mittels interaktiver und statischer

Karten dar. Als Zielgrößen ergeben sich Verkehrsbelastungswerte für einzelne Straßenabschnitte. Sie werden normalerweise als statische und zeitlich gebundene thematische Bildschirmkarten visualisiert (Abb. 6-4).

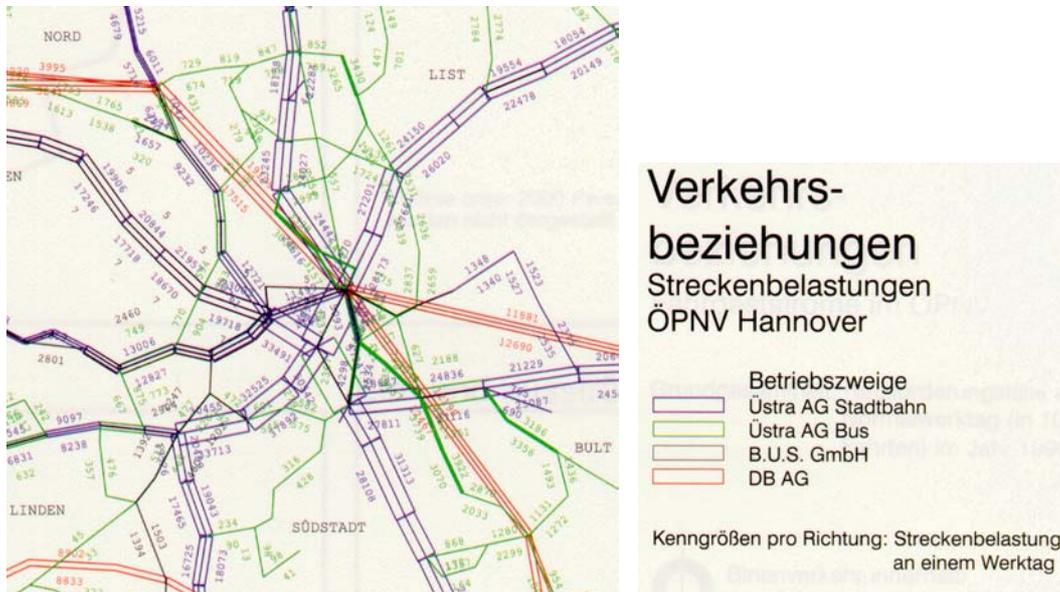


Abb. 6-4: Ausschnitt aus einer Karte der Streckenbelastungen (KGH 1998)

Die *raum-zeitlichen Zusammenhänge* können dadurch jedoch nur unzureichend dargestellt werden, da sie die subjektive (mental-kognitive) Ableitung *eines* Tertiärmodells von Verkehrsströmen aus *mehreren* statischen Sekundärmodellen erfordern. Dieser hohe kognitive Aufwand kann reduziert werden, wenn Verkehrsströme bereits im kartographischen Sekundärmodell *gemäß ihrer Natur*, also dynamisch, präsentiert werden. Vor diesem Hintergrund sind Untersuchungen zum Entwurf von kartographischen Animationen von Verkehrsströmen gerechtfertigt. Sie können z. B. als Alternativdarstellung mit statischen kartographischen Darstellungsformen verglichen werden. Untersuchungsschwerpunkt ist hierbei insbesondere die *Parametrisierung graphischer Variablen* unter Verwendung ihrer Eigenschaft „Veränderung“ (5.4.4). Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben Gestaltungsüberlegungen und die Bewertung ausgewählter Entwürfe.

### 6.2.3.2 Vorstellung und Diskussion von Entwürfen für die kinematographische Darstellung von Verkehrsbelastungswerten



Abb. 6-5: Darstellung der Verkehrsbelastung durch Änderung der Signaturenbreite (Entwurf 1, CD-Beispiel 6a)

Den Entwürfen liegen ein Drehbuch und ein Gestaltungskonzept zugrunde, dessen theoretische Konzeption und praktische Realisierung in der Arbeit von *Hampe* (1999) eingehend erörtert ist.

Die Entwürfe umfassen eine Reihe von grundrissähnlichen Darstellungen, die sich jeweils durch die Art der kartographischen Darstellung von Verkehrsbelastungswerten über einen Zeitraum von 24 Stunden unterscheiden. Um die Verkehrsbelastung je Streckenabschnitt darzustellen, wurden die Variablen *Größe*, *Farbton* und *Helligkeit* entsprechend der Zu- und Abnahme der Verkehrsbelastungswerte zeitlich verändert. Nachfolgend wird diskutiert, welche Wahrnehmungswirkungen sich daraus ergeben.

**Entwurf 1** (Abb. 6-5, CD-Beispiel 6a) stellt die Verkehrsbelastungen in Form *bandhafter Signaturen* entlang ausgewählter Strecken dar. Die Höhe der Verkehrsbelastung wird durch die sich stetig über die Zeit verändernde *Größe* der Signaturenbreite einzelner Streckenabschnitte dargestellt. Die Streckenabschnitte sind dabei über die Zeit *synchronisiert* (vgl. 5.4.4). Bei diesem Entwurf wird auf die Aufmerksamkeitslenkung – z. B. durch farbgestalterische Maßnahmen - verzichtet, so dass der Betrachter *selbständig* Beobachtungsbereiche selektieren muss. Darüber hinaus vermittelt die Farbgebung der Bandsignaturen den Eindruck der Gleichwertigkeit, so dass z. B. die Extrema des Prozesses individuell durch *Blickwechsel* ermittelt werden müssen.

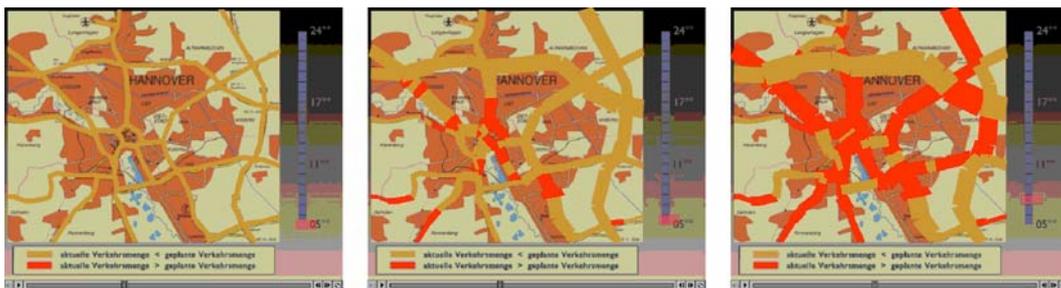


Abb. 6-6: Darstellung der Verkehrsbelastung durch Änderung der Signaturenbreite und zusätzlicher Betonung von grenzwertüberschreitenden Streckenabschnitten (Entwurf 1a, CD-Beispiel 6b)

Ein Alternativentwurf (Entwurf 1a, CD-Beispiel 6b) umfasst zusätzlich die farbliche Änderung von Streckenabschnitten, die *grenzwertüberschreitende Verkehrsbelastungen* aufweisen (Abb. 6-6). Durch die Verwendung eines gesättigten Rots treten sprunghafte Farbveränderungen auf. Sie bewirken *Aufmerksamkeitsreaktionen* und lenken von der Wahrnehmung des Gesamtprozesses ab. Dazu tragen mehrere lokale Cluster bei, die aufgrund ihrer Anzahl häufig die Kapazität des Kurzzeitgedächtnisses überschreiten und in der verfügbaren Zeit nicht in ihrer Gesamtheit beobachtet werden können.

Leider wird der Kartengrund bei beiden Entwürfen durch diese Art der Gestaltung besonders zu den Zeitpunkten hoher Verkehrsbelastung teilweise stark verdeckt, so dass insbesondere im Innenstadtbereich die Darstellung durch Signaturüberlagerungen stark beeinträchtigt wird. Darüber hinaus können die Absolutwerte nur grob mit Hilfe der eingeblendeten Legende geschätzt werden.

Bei dem **Entwurf 2** (CD-Beispiel 6c) wird zugunsten der Sichtbarkeit des Kartengrundes und der Raumorientierung auf die Variation der Signaturbreite verzichtet (Abb. 6-7). Stattdessen sind 10 *Verkehrsbelastungsklassen* gebildet und durch die Verwendung

*unterschiedlicher Farben* gekennzeichnet worden. Der Übergang von Grün zu Rot zeigt die Zunahme der Belastungswerte an. Die Farbwahl kann daher unter dem Aspekt der Farbassoziationen als korrekt betrachtet werden.

Durch den farblichen Gegensatz können sowohl die gering als auch die hoch belasteten Streckenabschnitte gut identifiziert werden. Aufgrund der hohen subjektiven Helligkeit der Farbe Gelb tritt jedoch ein *Aufmerksamkeitseffekt* auf, der den Betrachter von den in Rot und Grün dargestellten Extrema ablenkt und dadurch der Darstellung mittlerer Verkehrsbelastungswerte eine hohe Dominanz verleiht. Eine Verwendung von Farben gleicher Helligkeit oder mit stetiger Helligkeitszunahme für die Prozessdarstellung wäre geeigneter gewesen.

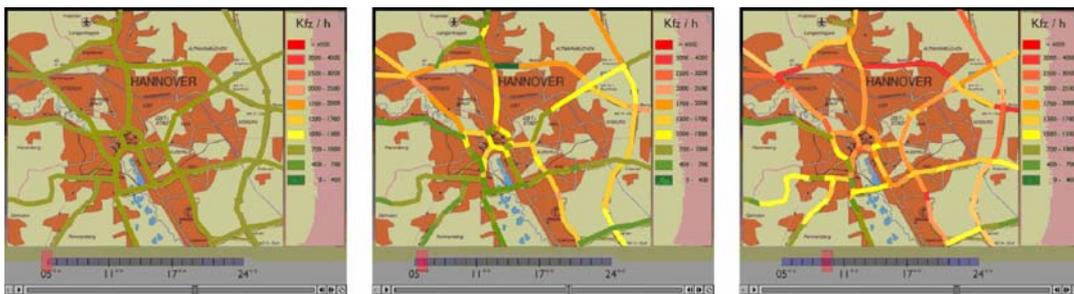


Abb. 6-7: Klassierte Darstellung von Verkehrsbelastungswerten veranschaulicht durch die farbliche Differenzierung der Belastungsklassen (Entwurf 2, CD-Beispiel 6c)

Darüber hinaus führt die Verwendung von 10 unterschiedlichen Farbtönen zu einem *unruhigen Farbveränderungseindruck*, so dass es der Darstellung an Kontinuität mangelt und eine *sprunghafte Farbveränderung* resultiert, die das Erkennen raum-zeitlicher Zusammenhänge erschwert und zudem nicht charakteristisch ist für den visualisierten Prozess (Hampe 1999). Grund dafür sind automatische *Aufmerksamkeitsreaktionen* des Betrachters. Sie treten aufgrund der *plötzlichen Farbveränderungen* auf. Der Betrachter ist daher stets versucht, die Bereiche der größten farblichen Veränderungen für die Beobachtung zu selektieren. Diese Art der Darstellung erscheint daher besonders geeignet, wenn *relative räumliche Änderungen* zu visualisieren sind.

**Entwurf 3** (CD-Beispiel 6d) ist besonders ausgerichtet auf die Wiedergabe der wesentlichen Merkmale des Verkehrsbelastungsprozesses (Abb. 6-8). Es sind der *kontinuierliche Verlauf* der Änderung der Verkehrsbelastungswerte und die *Veranschaulichung der Extrema* (der besonders hoch und gering belasteten Streckenabschnitte). Die Farbgebung erfüllt damit eine zweifache Funktion.



Abb. 6-8: Darstellung des Verkehrsnetzes und der Verkehrsbelastung durch bandhafte Signaturen konstanter Breite und durch einen kontinuierlichen Farbverlauf (Entwurf 3, CD-Beispiel 6d)

Die Verwendung nur einer helligkeitsvariierten Farbe unterstützt die visuelle und kognitive Gruppierung von zwei Klassen. Dies sind die hoch und die gering belasteten Abschnitte des Verkehrsnetzes. Durch die kontinuierliche Helligkeitsveränderung bleiben räumliche Zusammenhänge bestehen, so dass im Gegensatz zum Entwurf 2 räumliche Zusammenhänge besser ausgedrückt werden. Durch die *kontinuierliche Farbgebung* wird jedoch die zuverlässige Schätzung von Zwischenwerten gemindert.

Mit dem **Entwurf 4** (CD-Beispiel 6e) wird der Übergang von einer grundrissähnlichen (zweidimensionalen) auf eine *zentralperspektivische* unechte 3D-Darstellung vollzogen (vgl. 6.3.2, Abb. 6-9). In gestalterischer Hinsicht steht damit auch die *dritte Dimension* des Sekundärmodellraums zur Verfügung. Sie wird in diesem Falle genutzt für die Darstellung der *Quantität* der Verkehrsbelastung einzelner Streckenabschnitte. Die Variable „Größe“ steuert die Veränderung der Höhe von vertikalen Bandsignaturen über die Zeit.



Abb. 6-9: Perspektivische Darstellung der Verkehrsbelastung mittels vertikaler bandhafter Signaturen einzelner Streckenabschnitte (Entwurf 4, CD-Beispiel 6e)

Durch die Stufigkeit benachbarter Streckenabschnitte sind räumliche relative Veränderungen der Verkehrsbelastung gut erkennbar. Dies gilt jedoch nur für Abschnitte, die *nahezu orthogonal* zur Betrachtungsrichtung verlaufen. Daher ist die *Modellorientierung* als weiterer Gestaltungsparameter zu berücksichtigen. Mit diesem Parameter lässt sich eine *Informationsreduktion* durch gegenseitige Verdeckung bewirken, aber auch eine *Informationsbetonung* durch eine entsprechende Modellausrichtung.

Weitere nachteilige Effekte ergeben sich durch die perspektivische Verdeckung des Kartengrundes, die die räumliche Zuordnung der bandhaften Vertikalsignaturen erschwert. Dieser Nachteil kann durch die Verwendung einer *transparenten Flächenfüllung* z. T. wieder aufgehoben werden.

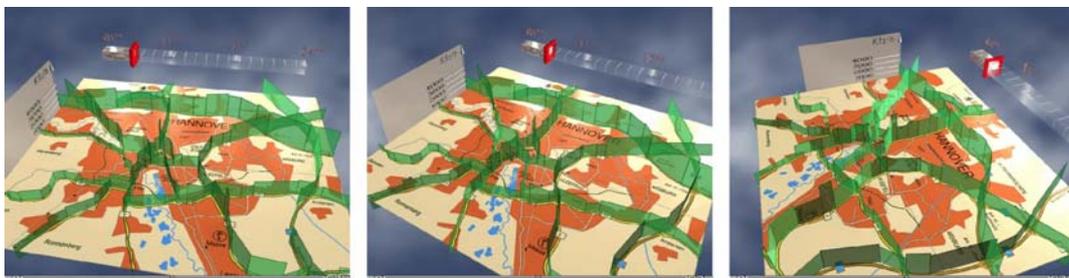


Abb. 6-10: Informationsdarstellung und –betonung durch Veränderung der Modellorientierung (CD-Beispiel 6e)

Für die umfassende räumliche Zuordnung ist jedoch zusätzlich die Variation der *Modell-darstellung durch Rotation* (Richtungsänderung) notwendig, damit gemäß der Wahrnehmungstheorie nach Marr (Kap. 3) ein umfassendes mentales 3D-Modell gebildet werden kann (Abb. 6-10). Damit verbunden ist einerseits ein zusätzlicher Zeitbedarf. Andererseits ergibt sich jedoch als positiver Nebeneffekt die *Wiederholung* und damit die Betonung besonders wichtiger Zeitpunkte im Prozessverlauf (Abb. 6-11).

Eine weitere Einschränkung ergibt sich durch die *perspektivische Verzerrung*, die ein Schätzen von absoluten Größen besonders erschwert. Abhilfe schafft eine sog. *Filterebene*, die entlang der vertikalen Z-Achse verschoben wird. Die Legende am linken Bildrand erlaubt die Zuordnung zu Verkehrsbelastungswerten, zudem werden durch die optische Filterung ausgewählte Streckenabschnitte zu festgelegten Zeitpunkten besonders hervorgehoben (Abb. 6-11).



Abb. 6-11: Visuelle Betonung räumlicher Strukturen durch Verwendung einer Filterebene (CD-Beispiel 6e)

Im Rahmen einer Befragung einiger Verkehrswissenschaftler wurde die perspektivische Darstellung besonders positiv bewertet. Gründe dafür sind der als ausgewogen bewertete Gesamteindruck, die gute Vergleichsmöglichkeit der Vertikalsignaturen mit dem am linken Bildrand angeordneten Signaturenmaßstab und die Betonung von Extremwerten durch Verwendung der Filterebene (Hampe 1999).

#### **6.2.4 Interaktion mit kinematographischen Ausdrucksformen**

Der wesentliche Unterschied zwischen statischen Darstellungsformen und kinematographischen Ausdrucksformen liegt in der *sequentiellen* und *zeitabhängigen* Form der Informationsvermittlung. Dadurch geht der Vorteil der individuellen selektiven Wahrnehmung z. T. verloren oder er unterliegt in hohem Maße dem zeitlichen Ablauf.

Die *Interaktivität* ist gering (Stufe 1). Sie ist in kognitiver Hinsicht beschränkt auf das *visuelle Auswählen von Informationen* und auf die *passive Informationsrezeption*. Durch die sequentielle Darbietungsform wird die Gewinnung eines Überblicks über den zeitlichen Verlauf nicht unterstützt, so dass der Betrachter das Prinzip der schematagesteuerten Antizipation nicht anwenden kann (4.3.4). Es können daher Überraschungseffekte auftreten, die das Zuordnen einer Information erschweren. Zudem ist der Nutzer eingeschränkt auf die *diagnostische Kommunikation*, die dadurch beeinträchtigt wird, dass Rückgriffe auf bereits gezeigte Informationen nur durch technische Einflussnahme (zurückspulen) möglich sind. Dem Betrachter wird dadurch die Reaktivierung von Informationseinheiten im Kurzzeitgedächtnis durch Wiederholung erschwert.

Der Autor einer kartographischen Animation ist daher gefordert, das Informationsbedürfnis der Zielgruppe genau zu recherchieren und mit audio-visuellen Darstellungsmitteln zum richtigen Zeitpunkt zu befriedigen. Diese Überlegungen werden bestätigt durch die Beobachtung, *dass häufig eine einmalige Betrachtung nicht ausreichend ist und stets der Wunsch nach Wiederholung geäußert wird* (Hampe (1999)).



Abb. 6-12: Benutzungsoberfläche einer Software für die computergestützte Wiedergabe von Animationen

Simultan zur visuellen diagnostischen Interaktion findet Informationsrezeption über den *auditiven* Sinneskanal statt. Die syntaktische und semantische Dekodierung dieser Nachrichten ist daher in erster Linie ein Sprachproblem, das unter Berücksichtigung des Aspektes der *sozialen Koordination* gelöst werden kann (5.6). Die sich daraus ergebende *akustische Interaktion* in Form der *Einweg-Kommunikation* erfüllt in gestalterischer Hinsicht die Funktion der Vermittlung von zusätzlichen Informationen, z. B. von Erklärungen. Andererseits unterstützt sie aber auch die *semantische Dekodierung*, da mit Hilfe der *Tondimensionen* (vgl. 3.3.5) insbesondere zeitliche Prozesse akustisch gestützt und ver-

stärkt werden können. Zudem können Klangbilder Assoziationen mit bestehenden Gedächtnisinhalten oder Schemata aktivieren, so dass der nachhaltige Wissenserwerb gefördert wird (Kap. 4). Der Vorteil dieser Darstellungsform liegt weniger in der Interaktion begründet, sondern eher im *Lernen* und *Wissenserwerb*.

In *technischer Hinsicht* ist die Interaktion erheblich eingeschränkt. Der Benutzer kann weder das *inhaltliche Angebot* beeinflussen noch *kartometrisch* tätig werden. Es verbleibt die Kategorie der *darstellungsbezogenen Interaktion*, die auf die Beeinflussung des *temporalen Informationsdargebotes* eingeschränkt ist. Konkret sind dies Funktionen, die sowohl bei der *video-* als auch der *computerbasierten* Informationsvermittlung mit kinematographischen Darstellungsformen bestehen (schneller Vor- und Rücklauf, Wiederholung, Standbild, Zeitlupe, Zeitraffer; vgl. Abb. 6-12).

Das **Standbild** unterstützt die individuelle *visuelle Exploration* und die Umsetzung eigener *Wahrnehmungsstrategien*, da die Zeitbindung aufgehoben wird. Die **Zeitlupe** lässt hochfrequente Änderungen wahrnehmungsgerecht erscheinen und die **Zeitrafferdarstellung** ähnelt einem Tiefpassfilter, bei dem die niederfrequenten Anteile eines zeitlichen Prozesses deutlich erkennbar sind und die hochfrequenten Anteile entfallen.

Im Vergleich mit der Karte liegt der *größte Vorteil* in der Visualisierung von *zeitlichen Abhängigkeiten* und *Veränderungen*, die gemäß ihrer Natur dargestellt werden. *Nachteilig* sind besonders die *zeitlichen Restriktionen* verbunden mit der Einschränkung der Interaktion auf darstellungsbeeinflussende Funktionen. Derartige kinematographische Ausdrucksformen sind daher vorwiegend für *Präsentationen* oder als *zusätzliche erläuternde Elemente* in einer multimedialen Umgebung geeignet.

Beispielhaft zeigt Abbildung 6-13 eine Szenenfolge aus der in Abschnitt 6.2.2 besprochenen Überflutungsanimation (Buziek 1997c, 1998). Bei der Verwendung dieser Technik ist die *Entnahme konkreter numerischer Werte* des Wasserstands an einer beliebigen Position der Wasseroberfläche *nicht möglich*, der Nutzer muss sich mit dem Diagramm und der vom Kartographen oder dem beratenden Fachmann vorgeschlagenen Bezugsposition der Diagrammwerte zufrieden geben. Gleiches gilt für die kartometrische Auswertung der Wasseroberfläche der in Abbildung 5-5 dargestellten topographisch-thematischen Karte.

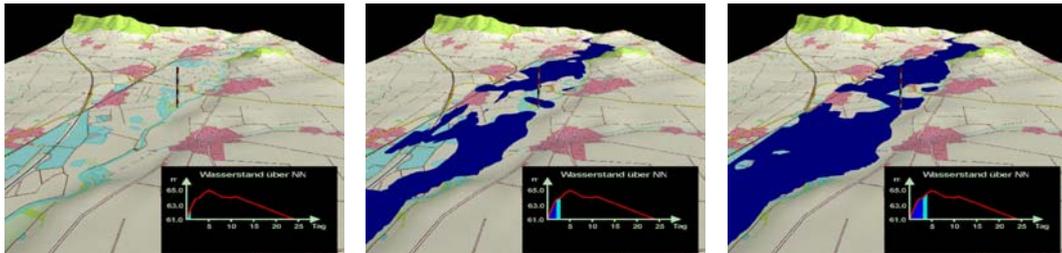


Abb. 6-13: Szenenfolge einer Überflutungsanimation (Buziek 1997a, 1998)

Neue Standards für digitale Videowiedergabeformate werden zukünftig den Nachteil mangelnder Interaktivität aufheben und u. a. die Einbindung *sensitiver Flächen* gestatten, die eine Verknüpfung mit weiteren Informationsquellen ermöglichen. Beispiele dafür sind die *Synchronized Multimedia Integration Language (SMIL)* und der Entwurf zum Standard *MPEG-7* (W3C 1999, MPEG-7 1999). Zugleich verändern diese Standards die Interaktivität moderner Medien, da *Inhalte* audio-visueller Medien dadurch referenzierbar werden. Diese zukünftigen Möglichkeiten werden die Nutzung von Animationen erheblich verändern, da sie dann auch für die *explorative kartographische Visualisierung* genutzt werden können. Der beliebige Zugriff auf die Daten eines Kontinuums wie dem im Beispiel angeführten Wasseroberflächenmodell wird jedoch nicht möglich sein, da er den direkten Zugriff auf das Datenmodell erfordert. Für die zeitunabhängige und nicht-deterministische Exploration eines raum-zeit-bezogenen Datenmodells wird daher eine *dynamische kartographische Ausdrucksform* benötigt (vgl. Fairbairn u. a. 2000).

### 6.3 Ein Beispiel für die Konzeption und Gestaltung einer dynamischen kartographischen Ausdrucksform für die Visualisierung von Flutszenarien

#### 6.3.1 Besondere Merkmale und zukünftige Bedeutung

Methoden der Computergraphik haben stets die Entwicklung neuartiger kartographischer Anwendungen beeinflusst (vgl. 5.2.2). Die Wege haben dabei von der automatisierten Berechnung *statischer* perspektivischer Darstellungen über *kinematographische* Ausdrucksformen zu *dynamischen und perspektivischen* Darstellungen der Landschaft geführt (z. B. Kraak 1988, Sieber u. Bär 1996, Zanini 1996, Häberling 1999, Rase 1974, Moellering 1980, Kraak 1994, Nelson u. a. 1997, Hatger 1997, Buziek u. Döllner 1999). *Dynamische Ausdrucksformen* sind durch einen *hohen Grad an Interaktivität* gekennzeichnet, der die individuelle Verwendung von darstellungs-, analyse- und inhaltsbezoge-

nen Funktionen gestattet (5.5.3.3, Kraak 1994, Neves u. a. 1997). Die damit verbundenen Nutzungsmöglichkeiten lassen diese Ausdrucksform zu einem *Allgemeinfall* kartographischer Darstellungen werden, da durch Kombination und Variation ihrer Merkmale beliebige andere bildschirmbezogene Ausdrucksformen abgeleitet werden können. Ihre Benutzung unterliegt nicht der Zeit, so dass sie flexibel und in nicht-deterministischer Weise zur Verwendung stehen. Dies ist vorteilhaft für die individuelle Bildung eines Tertiärmodells der Umwelt. Zudem sind derartige Ausdrucksformen sehr *aufmerksamkeitswirksam* und motivieren zum Gebrauch. Sie können sowohl als Ausdrucksmittel in MM-KIS integriert als auch singulär eingesetzt werden.

In thematischer Hinsicht kann eine derartige Ausdrucksform inhaltlich sehr vielfältig gestaltet werden. Sie ist mit einem Atlaswerk vergleichbar, so dass Nutzer mit unterschiedlichsten Zielsetzungen angesprochen werden können, falls deren Informationsbedarf generell durch das Datenmodell der kartographischen Ausdrucksform unterstützt wird.

Bisher wurde der Prozess der Informationsverarbeitung im Wesentlichen als *einseitig* gerichtet angesehen: Die traditionelle Karte als Informationsquelle unterstützt die Übertragung von Nachrichten zum Nutzer. Dynamische Ausdrucksformen lassen aber auch den umgekehrten Weg zu: *Die Übertragung von Informationen des Nutzers in die Karte*, so dass eine hohe Interaktivität der Stufe 4 bzw. 5 erreicht wird (vgl. Tab. 5-8). Tertiär- und Sekundärmodell der Umwelt können dadurch aufeinander abgestimmt werden. Darüber hinaus ist die Integration dynamischer Ausdrucksformen in Kommunikationsnetze möglich, so dass "computerunterstütztes kooperatives Arbeiten" in Kombination mit immersiven Darstellungen realisiert werden kann (Rhyne 1998, vgl. Heidmann 1999, MacEachren u. a. 1999).

Die Diskussion von *kartographischen* und *funktionalen* Gestaltungsaspekten dieser bedeutenden Darstellungsform steht bislang noch aus. In den folgenden Abschnitten wird daher in die Konzeption und Gestaltung eines Programmsystems für die Landschaftsvisualisierung und -analyse eingeführt werden (Buziek u. Döllner 1999, Baumann u. a. 1999).

### **6.3.2 Anforderungen an die Funktionalität**

*Dynamische Darstellungsformen* versprechen sowohl eine Verbesserung der Kommunikation als auch des Erwerbs von Geo-Wissen. Damit der Nachweis dafür auch experimentell erbracht werden kann, müssen Anwendungen verfügbar sein, die nicht nur in technischer Hinsicht über ein noch festzulegendes Funktionsrepertoire verfügen, sondern auch in graphisch-gestalterischer Hinsicht eine Qualität aufweisen, die statischen Karten ebenbürtig ist. Vor diesem Hintergrund wurde eine entsprechende Anwendung konzipiert und implementiert (Buziek u. Döllner 1999, CD-Beispiel 7). Die Konzeption wurde von den folgenden Leitgedanken getragen:

- *Ansprache der natürlichen Wahrnehmungsgewohnheiten durch anschauliche Darstellung von Geo-Basisinformationen*
- *Förderung von aktivem Lernen durch explorierbare Geo-Basisinformationen*
- *Unterstützung individueller Wahrnehmungsstrategien und Lern-Motivationen durch inhaltliche Systemflexibilität*

Als thematisches Umfeld wurde die kartographische Visualisierung der Landschaft gewählt, da im Sinne topographischer Karten und des ATKIS-Konzeptes diesbezügliche Informationen die Grundlage für die meisten thematischen, analytischen und komplex-analytischen kartographischen Darstellungen sind. Vor diesem Hintergrund ist die Identifikation von sog. *Basis-Funktionalitäten* für dynamische kartographische Ausdrucksformen eine vordringlich zu lösende Aufgabe.

Der Rahmen für die konzeptionelle Festlegung von Basisfunktionalitäten wird aufgespannt durch die theoretischen Grundlagen der menschlichen Wahrnehmung und ihrer prinzipiellen Mechanismen, die im Zuge der Raumorientierung aktiviert werden (Kapitel 3 u. 4).

Operationen des Wahrnehmungssystems „Mensch“	Funktionen des Sekundärmodells	Orientierung	Navigation			Analyse	Planung
			Navigation	Navigation	Navigation		
Simulation von Kopfdrehung und Blickrichtungsänderung	Modelldrehung um den Standpunkt	x					
Annäherung an ein Raumobjekt	Zoom	x					
Schnelle Blickwechsel	Änderung der Modellorientierung	x					
Objekte merken	Objekte markieren	x					
Überblick	Nebenkarte	x					
Bewegen im Raum	Flugsimulation		x				
	Modellverschiebung (um x, y, z)		x				
	Diskrete Perspektiv- und Positionsänderung		x				
Objektselektion u. -analyse	Modelldrehung um Zielpunkt				x		
	Digitale Kartometrie				x		
	Reliefdarstellung				x		
	Situationsdarstellung				x		
Informationsintegration	Raummarkierungen					x	
	Einfügen von Text, Graphik und geom. Objekten						x

Tab. 6-1: Operationen des Wahrnehmungssystems „Mensch“ und ihre Beziehungen zu Funktionalitäten des Sekundärmodells.

Gemäß des eingangs formulierten MM-KIVS besteht nun die Aufgabe darin, die intermodularen Wechselbeziehungen zwischen dem Modul „Mensch“ und dem Modul „Maschine“ unter dem Aspekt der sekundärmodellgestützten Raumorientierung zu identifizieren. Die in Tabelle 6-1 dargestellte Matrix zeigt die Zusammenhänge zwischen grundlegenden Operationen des Wahrnehmungssystems „Mensch“ und den Basisfunktionen eines dynamischen Sekundärmodells der Umwelt.

Die eingangs geforderte Flexibilität des Moduls „Maschine“ wird gewährleistet durch die ständige Funktionsverfügbarkeit und Oberflächentransparenz, die durch die in Abschnitt 5.6.4.2 beschriebene Oberflächengestaltung sichergestellt ist. Auf diese Weise wird das zyklische Wahrnehmungsverhalten unterstützt.

Den in Abschnitt 4.3.6 erwähnten Konstanzmechanismen und der Invariantenbildung wird entsprochen durch *kontinuierliche Modelltransformationen* (Modellrotation, Zoom, Pan usw.). Lokale Explorationsfunktionen (Modellrotation und –kippen) kommen den von Marr aufgestellten Anforderungen für 3D-Repräsentationen nach (Abschnitt 4.3).

### 6.3.3 Geometrische und graphische Modellierung

In Analogie zu dem von Grünreich (1985) vorgeschlagenen Konzept zur digitalen Landschaftsmodellierung basiert auch die hier vorgestellte Anwendung auf dem *digitalen Geländemodell* (DGM) und dem *digitalen Situationsmodell* (DSM). Die Kombination beider Modelle führt zu einem geometrisch und kartographisch modellierten Datenmodell, dem *digitalen Landschaftsmodell* (DLM) (Abb. 6-14).

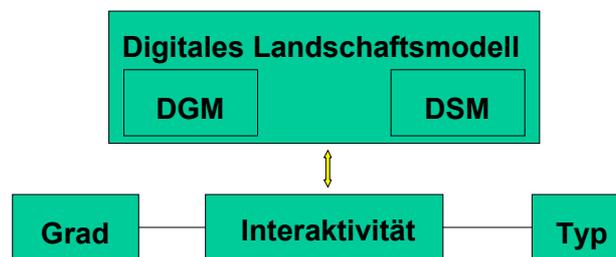


Abb. 6-14: Datenmodell für die interaktive Landschaftsvisualisierung

Dieses Modell hat unterschiedliche Anforderungen zu erfüllen. Sie sind gestellt an die

- *geometrische Modellqualität*, die auf Visualisierungs- und Analysemethoden abgestimmt sein muss, an
- die *morphologische Qualität*, die zum Zwecke der plausiblen Darstellung und Analyse von Landschaftsformen zu berücksichtigen ist, an
- die *graphische Qualität*, die im Hinblick auf eine effiziente visuelle Kommunikation gewährleistet sein muss und an
- die *logischen Datenstrukturen*, die eine interaktive Bedien- und Modifizierbarkeit des digitalen Sekundärmodells gewährleisten müssen.

#### 6.3.3.1 Die digitale geometrische Modellierung des Geländereiefs

Das *digitale Geländemodell* (DGM) bildet die Datengrundlage für die Darstellung der Reliefformen durch *Perspektivdarstellungen*, *Höhenlinien*, *farbige Höhenschichten*, *kontinuierliche Farbverläufe* und *Schräglich-Schummerungen*. Darüber hinaus wirkt sich seine geometrische und morphologische Qualität auf die *interaktive Entnahme von geländebezogenen Daten*, wie z. B. Höhenwerten und Geländeneigungen aus. Das DGM ist daher ein äußerst wichtiges *Grundlagenmodell*, das insbesondere die *Dreidimensionalität* des Raumes zum Ausdruck bringt.

Im Vermessungswesen ist das Verfahren der digitalen Geländemodellierung bereits frühzeitig zur Anwendungsreife entwickelt worden. Heute stehen operationelle Softwarepakete zur Verfügung, die i. d. R. *gitter-* und *dreiecksbasierte* digitale *Geländemodelle* erzeugen (z. B. Buziek 1990, Fritsch 1990, Hake 1980, Buziek u. a. 1992).

Im Hinblick auf die *interaktive Nutzung* besitzen zweifellos DGM mit *regelmäßig-gitterförmiger Struktur* der Interpolationspunkte Vorteile. Sie sind wenig speicherintensiv und aufgrund ihrer Regelmäßigkeit hervorragend geeignet, um in unterschiedlichsten Auflösungen die Modelloberfläche zu approximieren. Die Gitterelemente des DGM werden dafür z. B. nach der *Quadtree-Methode* organisiert und durch einen *Level-of-Detail Mechanismus* gesteuert (Kersting 1998). Oberflächenbereiche, die eine große Entfernung zur Abbildungsebene aufweisen, können dadurch mit geringerer Auflösung approximiert werden, während die im Vordergrund einer perspektivischen Abbildung befindlichen Elemente mit hoher Auflösung dargestellt werden. Die Anzahl der zu berechnenden Oberflächenelemente wird optimiert und dadurch die Rechenzeit für die perspektivische Abbildung und die Berechnung der Schräglightschummerung minimiert (Abb. 6-15). Eine detaillierte Beschreibung der Methode mit Bezug zur hier genannten Anwendung wird von *Baumann u. a.* (1999) gegeben.

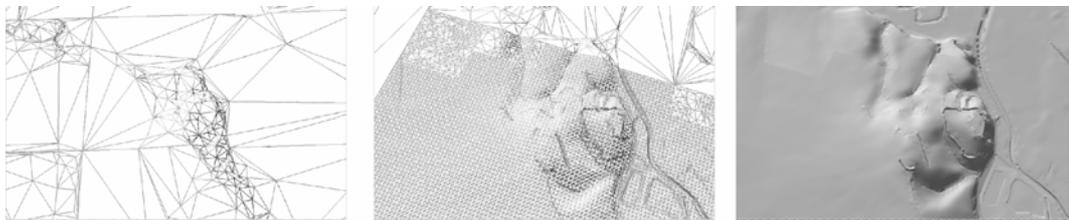


Abb. 6-15: Die Steuerung der geometrischen Auflösung eines DGM durch einen Level-of-Detail Mechanismus.

Ein *Nachteil* des gitterförmigen DGM ist die Abhängigkeit der morphologischen Qualität von der gewählten Gitterweite (vgl. Ottoson 1999). Der Verringerung der Gitterweite sind Grenzen gesetzt, da stets eine Erhöhung der Datenmenge die Folge ist (Faktor 4 bei einer Halbierung der Gitterweite). Dieses Vorgehen ist daher nur in begrenztem Umfang möglich.

In der hier beschriebenen Anwendung besteht die Strategie darin, die *großräumigen und steilen Formen der Geländeoberfläche* durch Gitterelemente zu beschreiben und durch zusätzliche Dreieckselemente lokale Geländestrukturen zu definieren (Buziek u. a. 1992, Buziek u. Döllner 1999; vgl. Abb. 6-16).

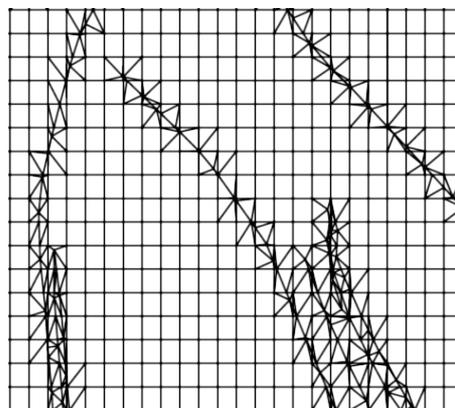


Abb. 6-16: Darstellung einer hybriden Datenstruktur für digitale Geländemodelle. Die integrierten Dreieckselemente beschreiben morphologische Strukturlinien.

Die Vorzüge dieses *hybriden* digitalen Geländemodells sind begründet in seiner optimierten Oberflächenelementanzahl, der Minimierung der abzubildenden Gitter-Elemente und der hohen morphologischen Qualität. Diese Merkmale wirken sich vorteilhaft aus auf die *Interaktivität*, die *graphische Darstellung* und die *numerische Ergebnisqualität digitaler Analysen*. Das Geländemodell kann im einfachsten Fall als perspektivisches Drahtgittermodell dargestellt werden (vgl. Abb. 6-16).

### 6.3.3.2 Die graphische Darstellung des DGM mittels Beleuchtungsmodellen

Für die graphische Darstellung der Oberfläche des digitalen Geländemodells werden *Renderingverfahren* eingesetzt (z. B. Coquillart u. Gangnet 1984, Glassner 1990, Fröhlich 1992, Hearn u. Baker 1994). Mit ihrer Hilfe wird die Lichtausbreitung im Modellraum über ein *Beleuchtungsmodell* (z. B. Phong- oder Gouraud-Shading) simuliert, so dass den Bildelementen der Abbildungsebene mittels eines *Schattierungsverfahrens* im einfachsten Fall Grauwerte zugewiesen werden können. Üblicherweise wird die polyederartige Modelloberfläche dadurch geglättet dargestellt.

Für eine hohe graphische Qualität der resultierenden schattenplastischen Schummerung ist jedoch die Berücksichtigung von *Geländestrukturlinien* notwendig. *Bruchkanten* sowie Böschungsober- und -unterkanten definieren Unstetigkeitsstellen im Gelände und erfordern daher eine entsprechende Darstellung durch das Schattierungsverfahren. Im Beleuchtungsmodell sind daher *Geländeunstetigkeiten* zu berücksichtigen und mittels der Schattierung entsprechend darzustellen. Für diese Zielsetzung ist das Gouraud-Beleuchtungsmodell modifiziert worden (Buziek u. Döllner 1999). Abbildung 6-17 zeigt im Vergleich die Ergebnisse der schattenplastischen Schummerung mit und ohne Berücksichtigung der Strukturlinien.

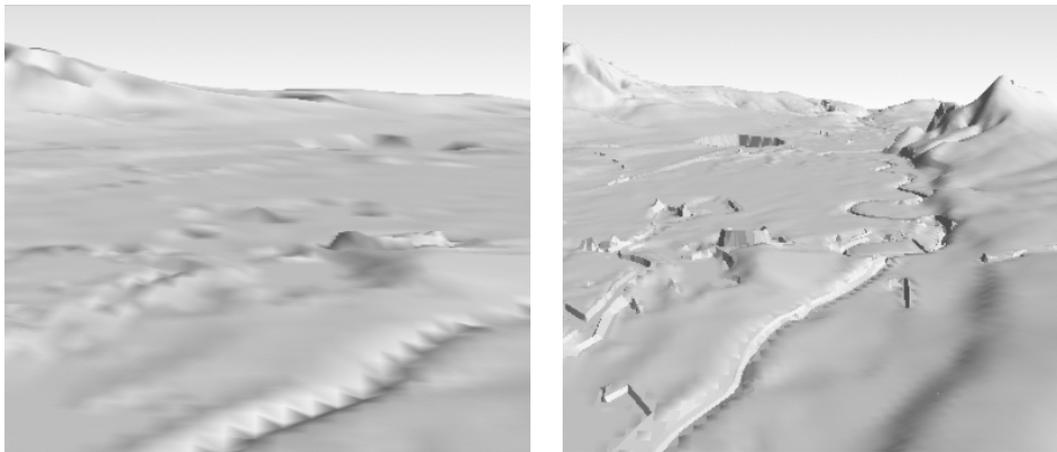


Abb. 6-17: Schattierungsmodelle resultierend aus dem Gouraud-Verfahren. Linkes Bild: Ohne Berücksichtigung von Strukturlinien. Rechtes Bild: Mit Berücksichtigung von Strukturlinien.

Durch Anwendung des Beleuchtungsmodells wird ein virtuelles Grauwertbild mit hoher Auflösung berechnet. Die Bildgeometrie ist mit der Modellgeometrie assoziiert und wird mit der bekannten Kameraeinstellung auf den Bildschirm transformiert. Entsprechende Transformationsalgorithmen beschreiben z. B. *Hearn* u. *Baker* (1994).

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die Schummerungsberechnung nur dann durchgeführt werden muss, wenn sich die Position der Lichtquelle relativ zum Sekundärmodell ändert. Perspektivische Änderungen bewirken lediglich eine Abbildungstransformation des Grauwertbildes, die rechenzeitoptimal durch die Graphikhardware unterstützt wird. Die rechenzeitintensive Schattierungsberechnung einzelner Polygone (Dreieckselemente) entfällt dadurch (siehe Olbrich 2000).

### 6.3.3.3 Die graphische Darstellung der Geländeoberfläche mit Texturen

Die Simulation von Licht und Schatten unterstützt die kognitive Verarbeitung räumlicher Strukturen besonders effektiv. Sie ist jedoch nicht ausreichend für das *Schätzen* und *Erkennen* von räumlichen Verhältnissen, wie z. B. Entfernungen und Entfernungsdifferenzen oder absolute und relative Höhenunterschiede. Die Ursache dafür liegt darin begründet, dass unsere Wahrnehmungsschemata auf *Erfahrungen* im Umgang mit *realen* Umweltobjekten begründet sind, so dass das deklarative Wissen nur teilweise auf das Sekundärmodell der Umwelt übertragen werden kann. So werden z. B. Nutzungsarten im Sekundärmodell aufgrund des Legendenstudiums erkannt; Flächengrößen oder Entfernungen können ohne Maßstabsinformationen jedoch nicht korrekt geschätzt werden. Die durch das Sekundärmodell vermittelte Vorstellung von der Realität ist daher unvollständig.

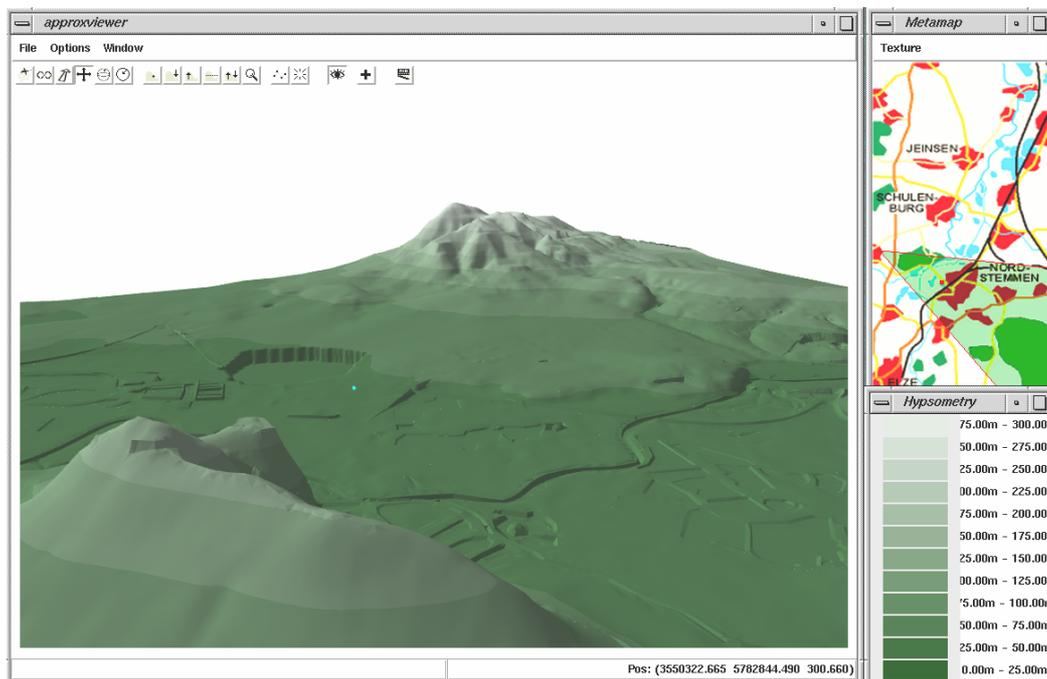


Abb. 6-18: Unterstützung der Wahrnehmung der vertikalen Reliefgliederung durch farbige Höhenschichten (CD-Beispiel 7)

Aus diesen Gründen sind *Hilfen* erforderlich, die die Größen und Größenverhältnisse im Sekundärmodell dem Nutzer verfügbar machen, damit die *Zuordnung der Modellverhältnisse zur Realität* erfolgen kann (Integration von Primär- und Tertiärmodell). Aus Gründen

der Kommunikationseffizienz sollte dies nach Möglichkeit visuell geschehen, da nur so zusätzliche – zeitkostende - Interaktionen vermieden werden können. Aus kartographischer Sicht ist daher die Oberflächendarstellung mittels farbgestufter Höhenschichten auch in unechten 3D-Darstellungen ein unverzichtbares Hilfsmittel für die kognitive Tertiärmodellgenerierung, da sie das *Abschätzen* der Raumdimensionen unterstützt (Abb. 6-18). Unter Berücksichtigung der Forderung nach *Flexibilität und Adaptivität* sollte die

- Wahl der Äquidistanz,
- der Äquidistanzwechsel und
- der Farbgebung

individuell festgelegt werden können. Für eine harmonische und gefällige graphische Darstellung kann auf die bekannten Ergebnisse kartographischer Forschung zurückgegriffen und eine *assoziative Farbgestaltung* entworfen werden. Beispiele dazu finden sich z. B. bei *Imhof* (1965).

Abbildung 6-18 zeigt eine unechte 3D-Darstellung, deren vertikale Reliefgliederung großräumig durch farbige Höhenschichten wiedergegeben wird. Für die absolute Höhenzuordnung wird eine Farblegende bereitgestellt. In kleinen Gebietsausschnitten eignen sich auch Kartentexturen mit Höhenliniendarstellung, die jedoch großräumig an Wirkung verlieren und zudem nicht flexibel in der Reliefdarstellung sind (Abb. 6-19).

Für die Darstellung topographischer Objekte werden in dem hier vorgestellten Prototyp ebenfalls *Texturen* im Sinne der Informatik verwendet (Buziek u. Döllner 1999). Dazu werden Rasterbilder bereitgestellt. Sie sind georeferenziert und können z. B. eine aus ATKIS-Daten berechnete *Präsentationsgraphik* beinhalten (Abb. 6-20), hochaufgelöste Rasterdaten amtlicher topographischer Karten (Abb. 6-21) oder nach Objektklassen getrennte topographische Objekte. Inhaltlich entspricht das Sekundärmodell damit dem ATKIS-DLM bzw. einer topographischen Karte und kann zweckentsprechend angewendet werden.

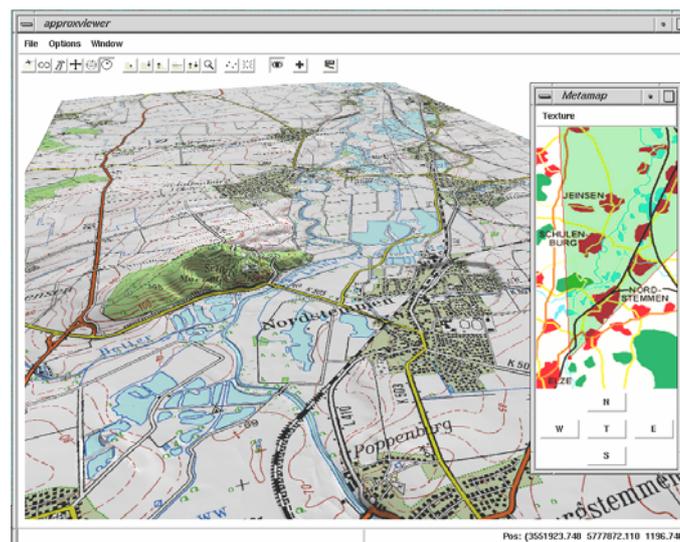


Abb. 6-19: Versagen der vertikalen Reliefgliederung durch Höhenlinien aufgrund der perspektiven Abbildung und räumlichen Tiefe (CD-Beispiel 7)

#### 6.3.3.4 Das Konzept der digitalen Kartometrie und Analyse

Unter *Kartometrie* ist die Gewinnung von Informationen durch die Anwendung einfacher Messmethoden in Karten zu verstehen. Trotz ihres statischen Erscheinungsbildes ist die Karte in dieser Beziehung sehr flexibel im Gebrauch. Dies setzt allerdings bei den Nutzern Kenntnis über die Handhabung einfacher Messgeräte, wie z. B. dem Polarplanimeter, oder die Anwendung trigonometrischer Formeln voraus. Der Benutzer muss daher einen gewissen *kartenspezifischen Kenntnisstand* (episodisches Wissen) besitzen.

An dieser Stelle zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen Karten und dynamischen Ausdrucksformen. In letzteren sind die Funktionen ergebnisbezogen erläutert und mit geeigneten Metaphern, Begriffen und Piktogrammen oder Symbolen beschrieben. Sie werden mit den verfügbaren peripheren Eingabegeräten aktiviert und ausgeführt und gehören zur Kategorie der *Analysefunktionen*. Statt kartenbezogenem Wissen sind nunmehr *systemspezifisches Wissen* und *Wissen um die Semantik der kartometrischen Ergebnisse* gefordert. Methodisches Wissen wird nicht oder kaum benötigt. Das notwendige *kartenspezifische Wissen* ist bereits durch Spezialisten bei der Entwicklung in die Implementierung von digitalen kartometrischen Funktionen eingeflossen. Einfachste Computerkenntnisse reichen in diesem Fall aus, um individuell Sekundärinformationen aus einer dynamischen Darstellungsform zu extrahieren.

Zu Versuchszwecken wurden in den hier diskutierten Prototyp folgende Messfunktionen implementiert, deren technische Funktionsweise von *Döllner* (1999) beschrieben wird:

- Bestimmung diskreter Koordinatenwerte,
- Bestimmung von Horizontaldistanzen für Strecken und Streckenzüge sowie
- Ermittlung von Höhenwerten relativ zu einer kreisförmigen Bezugsfläche, wie Maxima, Minima, durchschnittliche Höhe und Höhendifferenz.

An einem einfachen Beispiel sollen nachfolgend die Vorteile der Messfunktionen im Vergleich zu einer statischen Karte herausgestellt werden. Gefordert sei die Ermittlung des Höhenmaximums in einer Karte. Wenn keine Kenntnisse über das in der Karte dargestellte Gebiet vorhanden sind, setzt die Lösung dieser Aufgabe eine Suchstrategie voraus, die mehrfache Blickwechsel, semantische Dekodierungen und kognitive Analysen umfasst. Bei dynamischen Darstellungsformen hingegen reduziert sich der Zeitbedarf auf die Auswahl der richtigen *Systemfunktion*, ihre Aktivierung und Ausführung. Das System liefert das gewünschte Ergebnis und die visuelle und kognitive Analyse des Kartenbildes reduziert sich auf die Erkennung der Zielsignatur und dem Lesen, Zuordnen und Interpretieren eines numerischen Wertes. Damit verbunden ist ein deutlicher Zeitgewinn, da die bewusste Fokussierung und das bewusste Studium des Kartenbildes entfallen.

#### 6.3.3.5 Interaktive Analyse des Sekundärmodells eines Überflutungsraumes

In dem nachfolgenden Beispiel soll gezeigt werden, wie sich die interaktive Nutzung einer dynamischen Darstellungsform ergeben kann. Die fiktive Aufgabenstellung besteht hier in der *Analyse eines Landschaftsbereiches hinsichtlich flutgefährdeter Industrieanlagen*.

Der Nutzer hat zunächst eine inhaltlich reduzierte Darstellung des Sekundärmodells gewählt, die durch die Verwendung einer aus ATKIS-Daten erzeugten Flächennutzungsdarstellung (sog. Präsentationsgraphik) entsteht. Die Navigationsfunktionen werden in unterschiedlicher Reihenfolge genutzt, bis ein Gebietsausschnitt sichtbar ist, in dem eine erhebliche Beeinträchtigung durch das Überflutungsgeschehen vermutet wird (Abb. 6-20).

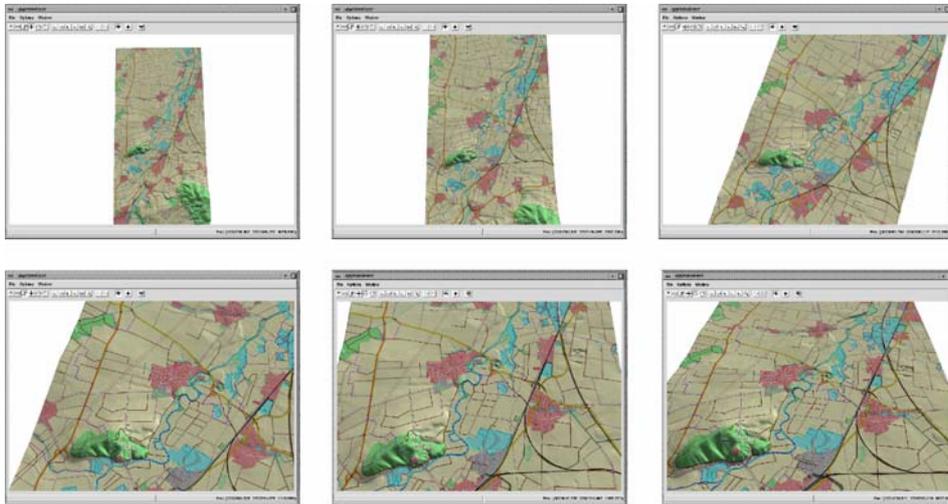


Abb. 6-20: Verwendung von Navigationsfunktionen für die Orientierung im Sekundärmodellraum

Unabhängig von bereits aktivierten Funktionen können jederzeit darstellungsbeeinflussende Funktionen verwendet werden, um z. B. Modellcharakteristika für die visuelle Analyse herauszustellen.

Diesem *Orientierungsprozess* schließt sich die eigentliche *Exploration* an, die zur visuellen oder numerischen Entnahme von Daten führt. Sie ist eine Folge der Zielsetzung und von kognitiven Vorgängen, wie z. B. dem *Interpretieren*, dem *Bewerten* und dem *Klassifizieren*. Sie kann verbunden sein mit weiteren darstellungsverändernden Aktionen, z. B. der Verwendung von farbgestufteten Höhenschichten für die visuelle Reliefanalyse oder die Nutzung von Funktionen der digitalen Kartometrie für die Entnahme diskreter numerischer Werte (Abb. 6-21).

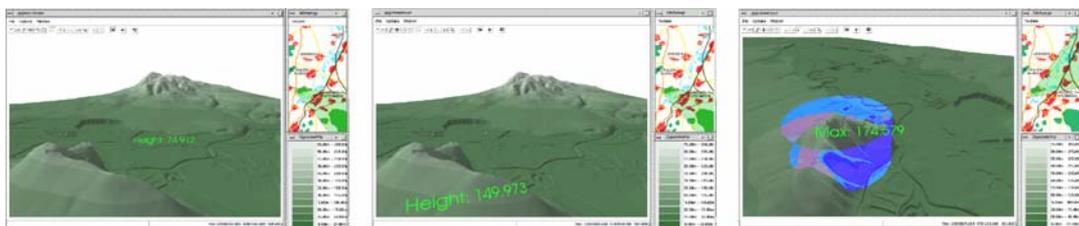


Abb. 6-21: Darstellung von farbgestufteten Höhenschichten in Verbindung mit der Entnahme diskreter numerischer Höhenwerte als Beispiel für die explorative visuell-numerische Reliefanalyse

Die Orientierungsphase ist vorläufig beendet, wenn der Benutzer alle ihm wichtigen Informationen erhalten hat, die er für eine Lösung der Aufgabe benötigt. In diesem Fall sind Kenntnisse über die Siedlungsstruktur und die Reliefformen und Höhenverhältnisse entnommen worden.

In diesem Stadium der Exploration hat sich der Benutzer durch fortwährenden Wechsel von visueller und numerischer Analyse sowie Orientierung und Navigation eine Modellvorstellung bzw. ein Tertiärmodell des Raumes gebildet. Er verfügt damit über *deklaratives Wissen*, das als Bezug für die kognitive Integration weiterer raumbezogener Informationen, z. B. über das Überflutungsgeschehen, verwendet werden kann. Es wird daher eine *inhaltliche Änderung* vorgenommen, die zur Darstellung des Überflutungsgeschehens zu verschiedenen Zeitpunkten führt (Abb. 6-22).

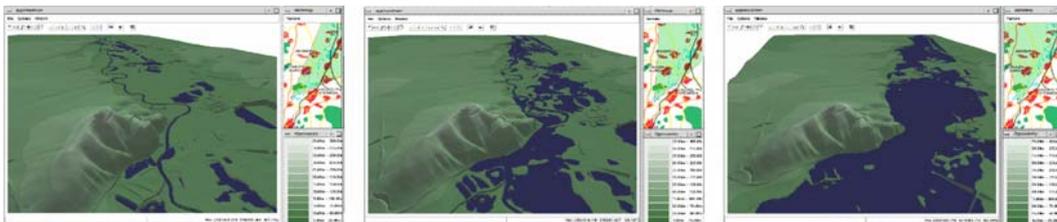


Abb. 6-22: Analyse von Überflungsstrukturen durch kombinierte Änderung von darstellungsbeeinflussenden Faktoren und temporalen Parametern (Wahl diskreter Überflungszeitpunkte)

Ziel der weiteren *visuellen* Exploration kann z. B. sein, zu ergründen, welche Ortschaften hochwassergefährdet sind, so dass wiederum *inhaltliche Änderungen* in Kombination mit *Änderungen der Darstellung* notwendig sind. Die Wahl einer bestimmten Textur und die lokale Modellexploration können daraus resultieren (Abb. 6-23). Ergänzend können gezielt numerischer Werte entnommen werden, z. B. die Wasserspiegellage. Entscheidungen und Handlungen können die Folgen sein und Maßnahmen zur Gefährdungsminde- rung auslösen.

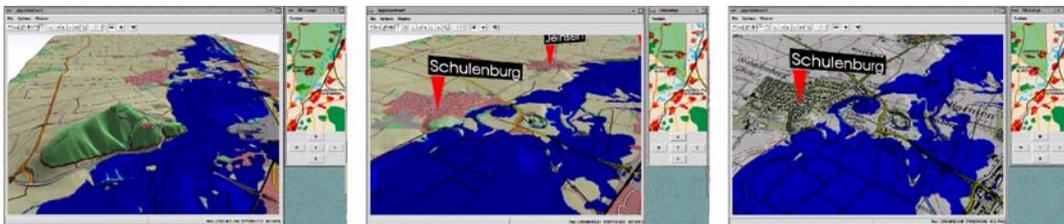


Abb. 6-23: Lokale Exploration zur Identifikation hochwassergefährdeter Industriebetriebe unter Zuhilfenahme einer ATKIS-Präsentationsgraphik und eines Rasterdatensatzes der TK 25

Sowohl für die *individuelle Exploration* als auch für die *Nutzer-Nutzer-Kommunikation* ist die assoziative Verknüpfung von den gewonnenen Erkenntnissen mit dem Sekundärmodell notwendig. In diesem Fallbeispiel wird ein gefährdeter Industriebetrieb durch Schrift und Symbol gekennzeichnet (sog. *Informationsintegration*). Damit enthält das Sekundärmodell Hinweisinformationen (Hinweisreize), die zu späteren Zeitpunkten das während der Exploration gebildete Gedächtnisschema aktivieren und gebildetes diskursives Wissen wieder zur Verfügung stellen.

Der Informationsgehalt des Tertiärmodells ist dynamisch, es wird inhaltlich den Kommunikationszielen angepasst, bis es schließlich Informationen bereithält, die für die Lösung der Aufgabe benötigt werden (Abb. 6-24).





## 7 Zur experimentellen Untersuchung von kartographischen Sekundärmodellen der Umwelt

### 7.1 Vorbemerkungen

Eine im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Literaturrecherche zu experimentellen kartographischen Wahrnehmungsuntersuchungen hat gezeigt, dass sich in der experimentellen Kartographie ein Wandel vollzogen hat von *zeichensyntaktischen Untersuchungen* (z. B. Grohmann 1975, Vanecek 1980, Bollmann 1981, Magyar 1995, Nelson u. a. 1997) zu *kognitions-psychologischen* und *ganzheitlich ausgerichteten Ansätzen* (z. B. Peterson 1984, Brodersen 1986, Koch 1988/1993, Heidmann 1999, Bollmann u. a. 1999, Rey 1999). Darüber hinaus existieren einige Einzeluntersuchungen, die die sinnvolle Verwendbarkeit neuartiger Ausdrucksformen bestätigen. *Kraak* (1988) untersucht kartenverwandte perspektivische Ausdrucksformen für Visualisierungen des Geländes und von thematischen Daten, *Koussoulakou* (1990) untersucht die Kommunikationseffizienz von kartographischen Animationen, *Sieber* (1996) optimiert die Präsentation von Landschaftsperspektiven und *McGuinness* und *Ross* (1995) identifizieren signifikante Unterschiede in der Verwendung von interaktiven GIS-Funktionen durch Experten und Laienutzern.

Aktuelle Untersuchungen von *Bollmann u. a.* (1999) haben zudem ergeben, dass für eine zweckmäßige Verwendung von neuen Ausdrucksformen die Berücksichtigung *kommunikativer Rahmenbedingungen* notwendig ist, so dass Gestaltungsprinzipien sich im Umfeld von *Nutzungssituation*, *Handlungskontext* und *nutzerspezifischen Fähigkeiten* ergeben. Ganzheitliche Untersuchungen dazu stehen erst am Anfang. In diesem Kapitel wird daher auf der Basis des MM-KIVS ein *allgemeiner* Untersuchungsrahmen für die Ermittlung der benötigten Kriterien vorgeschlagen.

Da zukünftig die verstärkte Nutzung von *interaktiven* und *dynamischen* Ausdrucksformen zu erwarten ist (siehe *Bollmann u. a.* 1999), beschließen entsprechende Vorschläge für praktische Untersuchungen ausgewählter derartiger Ausdrucksformen dieses Kapitel.

### 7.2 Ein Konzept zur Ermittlung der Kommunikationsleistung

#### 7.2.1 Definition der Kommunikationsleistung

Die Bewertung und der möglichst objektive Vergleich von neuartigen Ausdrucksformen eines MM-KIS setzt die Einführung eines geeigneten Bewertungsmaßstabes voraus. Er muss signifikante *nutzerseitige Einflussgrößen* mit den ebenfalls Einfluss ausübenden Parametern des MM-KIS (*darstellungsseitige Einflussgrößen*) verbinden. Beide Arten von Einflussparametern sind korreliert mit der Qualität der Lösung einer gestellten Aufgabe. Die Lösungsbewertung kann nach einem nominalen oder ordinalen Maßstab geschehen und ist ein Beitrag zur Ermittlung der Kommunikationsleistung.

## 7.2.2 Entwurf einer Untersuchungsmethodik

### 7.2.2.1 Problematik

Aus allgemeiner Sicht ist die Bestimmung von nutzerseitigen Einflussgrößen eine Aufgabe der *Persönlichkeitsforschung* und der *psychologischen Diagnostik* (Mietzel 1997). Eine Einführung in diese Gebiete geben z. B. *Zimbardo* (1995), *Asendorpf* (1996), *Straub* u. a. (1997) und *Jackson* (1999). Diesbezügliche Testverfahren werden zumeist für Zwecke der *Klassifikation*, *Evaluation*, *Selbsterkenntnis* und *Forschung* eingesetzt (Jackson 1999). Sie stehen daher in keinem Zusammenhang mit kartographisch gestalteten Reizvorlagen, so dass die Untersuchung der Kommunikationsleistung eine Adaption von Methoden an die Problemstellungen der kartographischen Visualisierung erfordert (vgl. Bollmann 1999).

Bei der Auswahl geeigneter Testverfahren zur *Nutzerklassifikation* besteht die Schwierigkeit darin, dass die zur Verfügung stehenden Tests äußerst vielfältig und vom psychologischen Laien kaum durchführbar sind, so dass zukünftige Forschungsarbeiten dazu interdisziplinär durchzuführen sind (Zimbardo 1995, Testzentrale 1996, Jackson 1999). Darüber hinaus existieren unterschiedliche Beschreibungsansätze für personenbezogene Charakteristika, die z. B. für die Beschreibung der *Persönlichkeit* über dreißig unterschiedliche Merkmale festlegen (z. B. Eysenckscher Persönlichkeitszirkel, siehe *Zimbardo* 1995, *Asendorpf* 1996). Zusätzlich muss die *Intelligenzstruktur* der Testpersonen berücksichtigt werden, die z. B. nach dem Berliner Intelligenzstrukturmodell (BIS) 12 unterschiedliche Merkmale umfassen kann (Straub u. a. 1997). Hinzu kommen *geschlechts-* und *altersbedingte* Unterschiede sowie *soziologische* Einflüsse (z. B. Asendorpf 1996).

Neben der Vielzahl zu prüfender Einflussgrößen ist die *statistische Ergebnissignifikanz* ein weiteres Problem (Schneider 1998). Mit etwa 80 Beobachtungen lässt sich der 95% Vertrauensbereich eines Mittelwertes ermitteln (Sachs 1978). Unter der Voraussetzung einer gleichmäßigen Häufigkeitsverteilung müssen daher für die signifikante Bestimmung von 30 Persönlichkeitsmerkmalen mindestens 2400 Versuchspersonen getestet werden! Werden darüber hinaus weitere Klassifizierungen vorgenommen (s. o.), z. B. nach *Alter*, *Geschlecht*, *Ausbildung* usw., ergeben sich weitaus höhere Zahlen, so dass diese Vorgehensweise nur in den seltensten Fällen durchgeführt werden kann. Experimentelle Untersuchungen werden daher häufig nur mit geringen Stichprobenumfängen durchgeführt und erfordern die unbedingte apriori Einschränkung der zu untersuchenden Einflussfaktoren (vgl. Sieber 1996, Heidmann 1999).

Vor dem Hintergrund dieser Problematik kann nachfolgend nur eine Bestandsaufnahme von Zusammenhängen erfolgen, die möglicherweise für experimentelle kartographische Untersuchungen relevant sein können. Sie mögen als Grundlage für die spätere Konkretisierung von Untersuchungen dienen, die zunächst zum Zwecke der zuverlässigen Ermittlung von Einflussgrößen durchzuführen sind.

### 7.2.2.2 Die Bestimmung von darstellungs- und nutzerbezogenen Einflussparametern

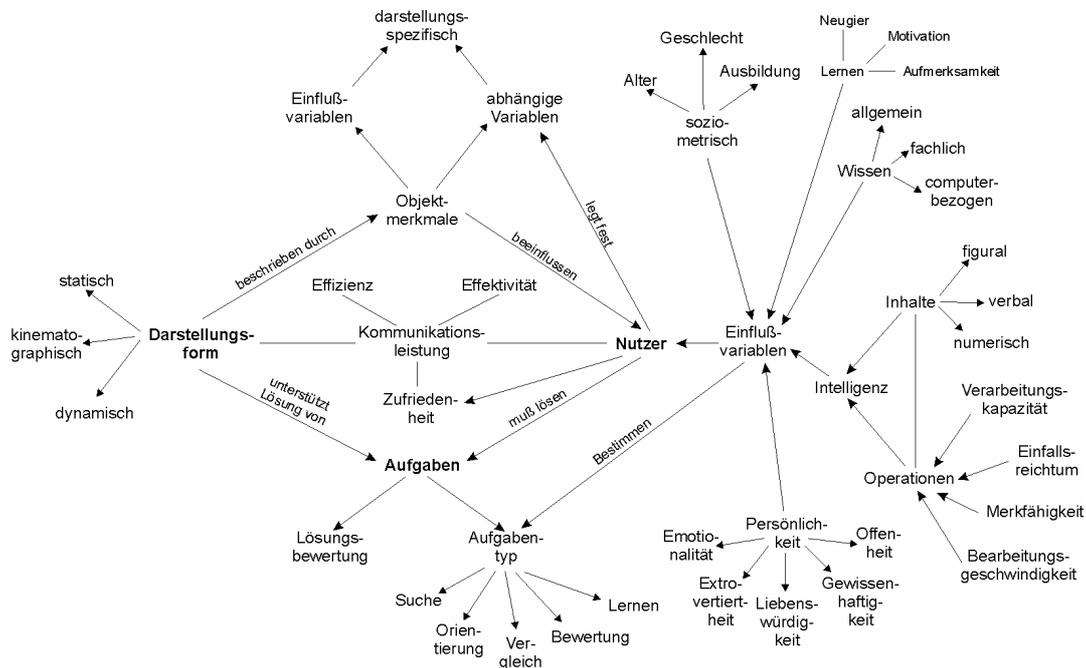


Abb. 7-1: Darstellung ausgewählter Zusammenhänge bei der experimentellen Untersuchung eines MM-KIS (hierarchische (→) und wechselseitige (↔) Assoziationsbeziehung)

Die Zusammenhänge einer Testmethodik (Abb. 7-1) basieren auf dem Konzept des MM-KIVS, das sich in den Knoten „Darstellungsform“, „Nutzer“ und „Aufgaben“ wiederfindet (vgl. von Benda 1986). Zunächst ist die Erstellung eines *aufgabenspezifischen MM-KIS* erforderlich, das unter Berücksichtigung der physiologischen und psychologischen Wahrnehmungszusammenhänge optimal entworfen werden kann. Seine Kenngrößen und damit die *darstellungsbezogenen Einflussparameter* der Kommunikationsleistung sind die Variablen des multimedialen Zeichen- und Variablensystems und die Merkmalsklassifikation (5.3). Sie werden hier nicht weiter diskutiert, da die theoretischen Grundlagen in den Abschnitten 5.3 und 5.4 behandelt wurden. Ein Beispiel für die praktische Festlegung enthält Abschnitt 6.2.2.

Auf der Seite des Nutzers sind die maßgeblichen Einflussbereiche die *Persönlichkeit*, die *Intelligenz*, das *Wissen*, das *Lernverhalten* und das *soziale Umfeld*. Aufgrund der Vielzahl der Parameter der Individuenbeschreibung und ihrer Permutationen muss von vornherein ein deduktives Vorgehen für Untersuchungen der Kommunikationsleistung ausgeschlossen werden. Aus diesem Grunde sind zunächst die zu lösenden Aufgaben festzulegen und die für eine erfolgreiche Lösung erforderlichen Persönlichkeitsmerkmale zu ermitteln. Sie werden durch entsprechende psychologische Testverfahren ermittelt. Die zu lösenden Testaufgaben können nach dem Konzept der Interaktivität im Mensch-Maschine-System kategorisiert werden (Abb. 5-21).

In der Abbildung 7-1 wurden als nutzerseitige Einflussgrößen die *Merkmale der allgemeinen Intelligenz* nach dem Berliner Intelligenzstrukturmodell (BIS) übernommen, das nach Ansicht von *Straub u. a.* (1997) derzeit zu den am weitesten elaborierten Untersuchungs-

verfahren zählt. Für die Festlegung von *Persönlichkeitsmerkmalen* wurde in diesem Beispiel auf die sog. „Big Five“ zurückgegriffen, die von einander unabhängig alltagspsychologisch repräsentierte Eigenschaften beschreiben (Asendorpf 1999). Auch hierzu sind statistisch gesicherte Testverfahren verfügbar (Straub u. a. 1996, Meili u. Rohracher 1972, Testzentrale 1996).

Weitere Merkmale der Bereiche „Wissen“, „Lernen“ und „Soziometrie“ können durch Fragebögen und Interviews ermittelt werden. Beispiele für die Gestaltung von Fragebögen und ihre Auswertung geben z. B. Vester (1993) für die Ermittlung von Lerntypen sowie Meili u. Rohracher (1972), Bortz (1984) und Rost (1996) für den allgemeinen Entwurf und die Auswertung von Fragebögen. Eine Diskussion von Methoden und Verfahren im Hinblick auf ihre Eignung für kartographisch motivierte Untersuchungen gibt Heidmann (1999).

### 7.2.2.3 Abhängige Variablen der Kommunikationsleistung

Hilfe für die Bestimmung von abhängigen Variablen liefern die Ansätze der *Software-Ergonomie*, mit denen allgemein die Leistung eines *Gesamtsystems* bestehend aus *Mensch* und *Computer* beschrieben wird. Es umfasst damit zwei wesentliche Komponenten des MM-KIVS (Abschnitt 2.3).

Generell wird für interaktive Systeme, wie z. B. dem MM-KIS, die *Dialog-Schnittstelle* als besonders wichtig klassifiziert, da sie die *Gebrauchstauglichkeit* und *Benutzerfreundlichkeit* des Systems mitbestimmt (von Benda 1986). Ihre *Funktionalität* und *Gestaltung* wird maßgeblich beeinflusst durch die zu lösenden *Aufgaben* und führt zu der *sozio-technischen* Betrachtungsweise des Gesamtsystems (Tab. 7-1, von Benda 1986).

<b>Sozio-technische Merkmale der Kommunikationsleistung</b>	
Einarbeitungszeit bis ein Nutzer zufriedenstellend arbeiten kann	Erledigungszeit für bestimmte Aufgaben
Art und Häufigkeit von Fehlern und deren Konsequenzen	Ergebnisqualität
Systemrobustheit	Beanspruchung von Kurz- und Langzeitgedächtnis
Leistung des Gesamtsystems unter erschwerenden Bedingungen	Eignung für einen heterogenen Benutzerkreis
Systemauswirkungen auf Gefühle und Einstellungen der Nutzer	

Tab. 7-1: Sozio-technische Merkmale der Kommunikationsleistung (nach von Benda 1986)

Neuere Untersuchungen im Bereich der Software-Ergonomie haben zur Beschreibung eines *Leitfadens für die Software-Evaluierung* geführt (Oppermann u. a. 1992). Er umfasst eine Liste von 12 Bewertungskriterien, die sich z. T. in reduziertem Umfang auch bei anderen Autoren wieder finden (Tab. 7-2, z. B. Stary 1994).

Sie können mit den von Oppermann u. a. (1992) empfohlenen Prüffragen bestimmt werden. Besonders interessant für die Bestimmung der *kartographischen Kommunikationsleistung* ist das Merkmal „Übersichtlichkeit“, das wiederum mehrere subjektive Bewertungsmerkmale umfasst (*Wahrnehmbarkeit, Lesbarkeit, Orientierungsförderlichkeit, Auf-*

*merksamkeitslenkung, Unterscheidbarkeit*). Diese Kriterien stehen in besonders engem Zusammenhang mit der Wahrnehmung und sind darüber hinaus in hohem Maße *gestaltungsabhängig*, so dass von ihnen ein nicht unerheblicher Einfluss auf die Kommunikationsleistung ausgeht. Sie sind zudem sowohl für die Bewertung der Benutzeroberflächengestaltung als auch für die der multimedialen kartographischen Komponente eines Systems verwendbar.

<b>Kriterien der Softwareevaluierung</b>	
Verfügbarkeit	Nützlichkeit bzw. Aufgabenangemessenheit
Komfort	Übersichtlichkeit
Selbstbeschreibungsfähigkeit	Erwartungskonformität
Fehlerrobustheit	Erlernbarkeit
Individualisierbarkeit	Steuerbarkeit
Kooperations- und Kommunikationsförderlichkeit	Datenschutz und Datensicherheit

Tab. 7-2: Kriterien der Softwareevaluierung als Beispiel für Merkmale der Kommunikationsleistung (nach Oppermann u. a. 1992)

Für die praktische Durchführung von Untersuchungen der Kommunikationsleistung müssen *typische Aufgabenstellungen* identifiziert werden, die als Prüfaufgaben im Sinne der Software-Evaluation zu lösen und zu bewerten sind. Derartige Aufgabenstellungen können den in Abschnitt 5.5 festgelegten Kategorien *Orientierung, Navigation, Analyse* und *Planung* zugeordnet werden. Aufgrund der Komplexität der Zusammenhänge sollte die Kommunikationsleistung stets im Zusammenhang mit den aufgezeigten Einflussfaktoren gesehen und interpretiert werden. Untersuchungsergebnisse müssen daher in Form eines umfassenden „*Systemleistungsinventars*“ dargestellt werden mit den Komponenten:

1. Nutzerprofil (bei absoluten Fragestellungen)
2. Durchschnittliche Gruppenmerkmale (bei relativen Fragestellungen)
3. Parametrische Beschreibung der kartographischen Darstellungsform
4. Merkmale der Aufgabenstellung
5. Merkmale der Kommunikationsleistung

#### **7.2.2.4 Ein Beispiel für die Auswahl von abhängigen Variablen der Kommunikationsleistung**

Von den in Abschnitt 7.2.2.3 aufgeführten Kriterien der Kommunikationsleistung sind einige besonders bedeutsam. Unter Rückgriff auf die drei Module des MM-KIVS (2.4.1.1) können die Kriterien „*Beanspruchung des Kurz- und Langzeitgedächtnisses*“ und „*Systemauswirkungen auf die Gefühle und Einstellungen der Nutzer*“ dem Modul „*Mensch*“ zugeordnet werden. „*Nützlichkeit bzw. Aufgabenangemessenheit*“ und „*Übersichtlichkeit (Wahrnehmbarkeit, Lesbarkeit, Orientierungsförderlichkeit, Aufmerksamkeitslenkung, Unterscheidbarkeit)*“ sind die wichtigsten Merkmale der *maschinenseitigen* und *modalitätsbezogenen* Gestaltung. Kriterien mit Bezug zu den zu lösenden Aufgaben sind die

„Erledigungszeit“ und die „Fehlerhäufigkeit“ sowie „subjektive Eindrücke“. Sie beschreiben die *Qualität* der intermodularen Beziehungen im MM-KIVS (Abb. 7-2).

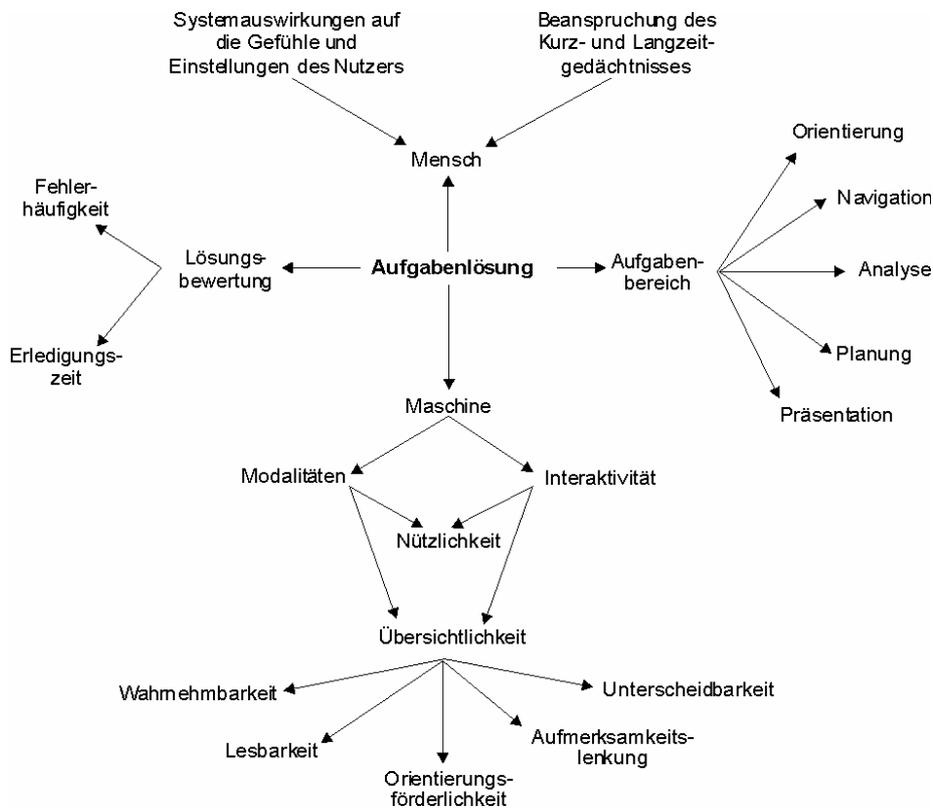


Abb. 7-2: Bewertungszusammenhänge im MM-KIVS (hierarchische (→) Assoziationsbeziehung)

### 7.2.2.5 Zur Ermittlung der Bewertungskriterien

Es stellt sich nun die Frage, wie die Kriterien bestimmt werden sollen. Dies setzt die objektive oder subjektive Messung geeigneter Größen voraus. Besonders anspruchsvoll stellt sich die Ermittlung der **Belastung des Kurz- und Langzeitgedächtnisses** dar. Unter Rückgriff auf die in dieser Arbeit ermittelten Gedächtnismechanismen muss geschlossen werden, dass sich eine *geringe Gedächtnisbelastung* ergibt, wenn die Gedächtnismechanismen (sensorische Reizverarbeitung, Aufmerksamkeit, Gedächtniskapazität, Gruppierung, Ordnung, Wiederholung, Wiedererkennung, Suche, Schemabildung, assoziative Verknüpfung usw.) durch die Gestaltung der Darstellungsform besonders gut unterstützt werden. In diesem Fall sollte sich eine kurze Informationsaufnahme- und -verarbeitungszeit ergeben in Verbindung mit einem hohen Informationsgewinn. Eine *hohe Gedächtnisbelastung* ergibt sich demnach, wenn diese Anforderungen nicht erfüllt werden. Gründe dafür können sein eine minderwertige multimediale Qualität, widersprüchliche Informationen, eine umständliche Benutzeroberflächenbedienung, geringer kontextueller Bezug der dargestellten Informationen und eine daraus resultierende beeinträchtigte Konzept- und Schemabildung. Dies kann zu einer verstärkten Aktivierung der Inferenzkomponente des Langzeitgedächtnisses führen, die zusätzlich das Kurzzeitgedächtnis belastet, da in erheblichem Umfang zum Zwecke des Erkenntnisgewinns

logisch gefolgert werden muss (vgl. Abschnitt 4.3.7). Da dieser Mechanismus korreliert ist mit dem Vorwissen (semantisch, episodisch, prozedural) des Nutzers, bedarf es zusätzlich der Ermittlung aufgabenbezogener individueller Vorwissenskomponenten.

Messgrößen sind zu diesem Kriterium die Ermittlung der Lösungszeit bei unveränderter Aufgabenstellung und veränderten Gestaltungsmerkmalen, die Feststellung des Vorwissens durch Anwendung von Interviewtechniken, die Anwendung der Methode des lauten Denkens während der Aufgabenlösung und die Ermittlung der Wissenszunahme durch Befragung nach Lösung der Aufgabe (vgl. Bollmann u. a. 1999, Heidmann 1999).

Die Feststellung der **Systemauswirkungen auf die Einstellungen und Gefühle der Nutzer** ist ein stark subjektiv geprägtes Kriterium. Seine Bewertung setzt ebenfalls die Feststellung eines Nutzerprofils voraus, das Aufschluss geben sollte über den Lerntyp, die Emotionalität, die Offenheit, die persönliche Einstellung zum Computer und zu neuen Medien und über diesbezügliche Kenntnisse. Auch Kenntnisse über Alternativen zur aufgegebenen Aufgabenlösung gehören zum Nutzerprofil. Es lässt sich a priori über Fragebogen- und Interviewtechniken feststellen (Abb. 7-3). Nach der Aufgabebearbeitung können dieselben Techniken eingesetzt werden, um eine subjektive a posteriori Benutzereinschätzung zu erhalten.

Die Ermittlung dieses Kriteriums ist notwendig, um die Einflüsse des Systems auf den Wissenserwerb bzw. das Lernen zu ermitteln. Wichtig ist hier die Feststellung, ob eine angenehme Arbeits- bzw. Lernatmosphäre durch das System geschaffen wird. In Analogie zum vorhergehenden Kriterium kann zusätzlich der Wissenszuwachs ermittelt werden, da nach dem Lernmodell von Vester (1993) mit einer angenehmen Lernumgebung auch eine Verbesserung der nachhaltigen Wissensspeicherung im Langzeitgedächtnis verbunden ist.

Mit dem Kriterium **Nützlichkeit und Aufgabenangemessenheit** wird die Brauchbarkeit der Module „Maschine“ und „Modalität“ getestet (Abb. 7-4). Dieses Kriterium ist in hohem Maße aufgaben- und zielgruppenabhängig. Auch hier lassen sich Fragebogen- und Interviewtechnik einsetzen um zu einer Bewertung zu gelangen. Die Aspekte können sich auf die Interaktivität, Funktionalität, auf einzelne Aufgaben als auch auf das gesamte Teilsystem beziehen. Ähnlich wie bei dem vorherigen Kriterium müssen auch hier Fragen zu Kenntnissen über mögliche Alternativlösungen zum Repertoire gehören, da so die Urteilsfähigkeit der Testpersonen festgestellt werden kann.

Das wohl umfassendste Kriterium und zugleich das gestaltungswirksamste ist die **Übersichtlichkeit**. Es steht in engem Zusammenhang mit der Belastung des Kurz- und Langzeitgedächtnisses und stellt den Bezug dazu über ausgewählte Merkmale her. Aus kartographischer Sicht bewertet es sowohl den Aufbau und die Gestaltung der Benutzerschnittstelle als auch die graphische und multimediale inhaltliche Gestaltung der Maschinen- und Modalitätskomponenten.

Die von Oppermann u. a. (1992) formulierten Empfehlungen zu diesem Kriterium beziehen sich auf die Benutzerschnittstelle. *Wahrnehmbarkeit* und *Lesbarkeit* sind Kriterien, die im Kontext der Farb- und Schriftgestaltung zu interpretieren sind. Einflussgrößen sind hier die Hintergrundfarben und die Typographie unter besonderer Berücksichtigung des Bildschirms als Wiedergabemedium. Unter Verwendung der DIN 66234/1 und typogra-

phischen Regelwerken, z. B. *Siemoneit* (1995), können diesbezügliche Untersuchungen analytisch und objektiv durchgeführt werden.

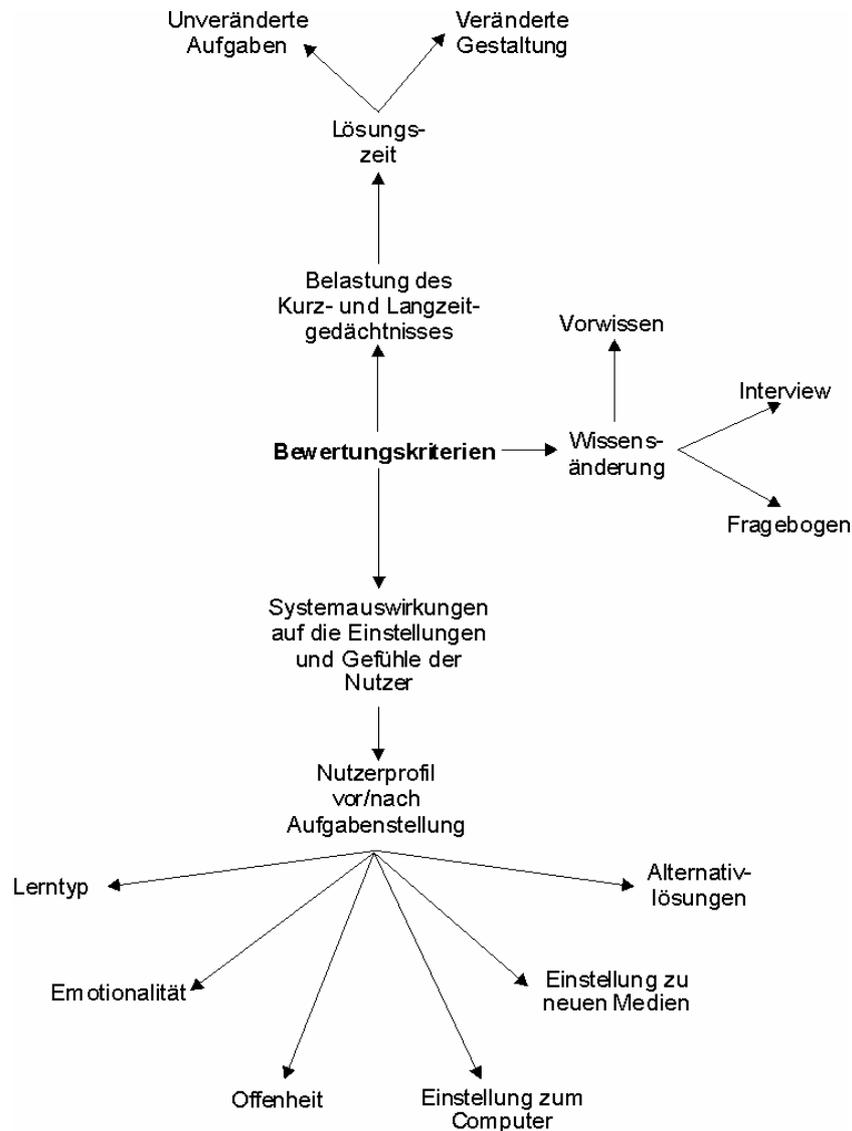


Abb. 7-3: Zusammenhänge von persönlichkeitsbezogenen Bewertungskriterien eines MM-KIVS (hierarchische (—>) Assoziationsbeziehung)

Die *Orientierungsförderlichkeit* bewertet den Aufbau und die Struktur des Bildschirmanzeigebereichs. Gemäß DIN 66234 wird in die Bereiche Arbeit, Befehle und Meldungen/Informationen unterschieden; eine Aufteilung, die auch heute noch Gültigkeit besitzt. Zum Herausgabezeitpunkt (1980) der DIN 66234 dominierten statisch strukturierte Oberflächen. Der heutige Stand der Technik bietet höhere Flexibilität und Dynamik, so dass besonders unter diesem Aspekt neue Erkenntnisse gewonnen werden müssen. Die variablen Größen möglicher Untersuchungen bestehen in diesem Punkt z. B. in der Abkehr von streng geometrisch strukturierten Oberflächen zu flexiblen und adaptiven Dialogschnittstellen. Die *Messgrößen* sind auch hier vorwiegend über die Zeit definiert. Such- und Zugriffszeit sind mögliche Variablen, die als Indikatoren der Oberflächengestaltung genutzt werden können. Aber auch der Zeitbedarf für typische Bedienabläufe ist ein wich-

tiges Kriterium, da selten Interaktionen singular, also ohne kontextuellen Bezug zu anderen, ausgeführt werden. In engem Zusammenhang damit steht die aktive Unterstützung von kognitiven Prozessen des Nutzers durch Maßnahmen der Oberflächengestaltung. Nach dem Vorschlag von *Oppermann u. a. (1992)* kann diese durch die *Aufmerksamkeitslenkung* graphisch, akustisch oder audio-visuell bewirkt werden. Auch hier dient die Zeit als Messgröße. Durch die höhere Belastung des Wahrnehmungssystems durch audio-visuelle Gestaltungsmaßnahmen sind jedoch auch subjektive Empfindungen, z. B. durch Interview- oder Fragebogentechniken, zu ermitteln.

Die *Unterscheidbarkeit* ist ein weiteres Merkmal der Übersichtlichkeit, das insbesondere unter dem Gesichtspunkt der Semantik interpretiert werden muss. Es beschreibt die Fähigkeit eines Systems, wichtige von unwichtigen und veränderte von unveränderten Informationen deutlich getrennt darzustellen. Dieser Prozess kann durch verschiedene Gestaltungsmaßnahmen unterstützt werden, z. B. durch die Verwendung des Variablenmerkmals „Veränderung“. Die Bewertung dieses Kriteriums ist insbesondere für dynamische Darstellungsformen wichtig, die besonders durch einen sich ständig ändernden Informationsinhalt gekennzeichnet sind. Als Messmethodik bietet sich in diesem Fall an festzustellen, welche Veränderungen erkannt werden, welches ihre Unterscheidungsmerkmale sind und wieviel Bearbeitungszeit dafür benötigt wird (Abb. 7-4).

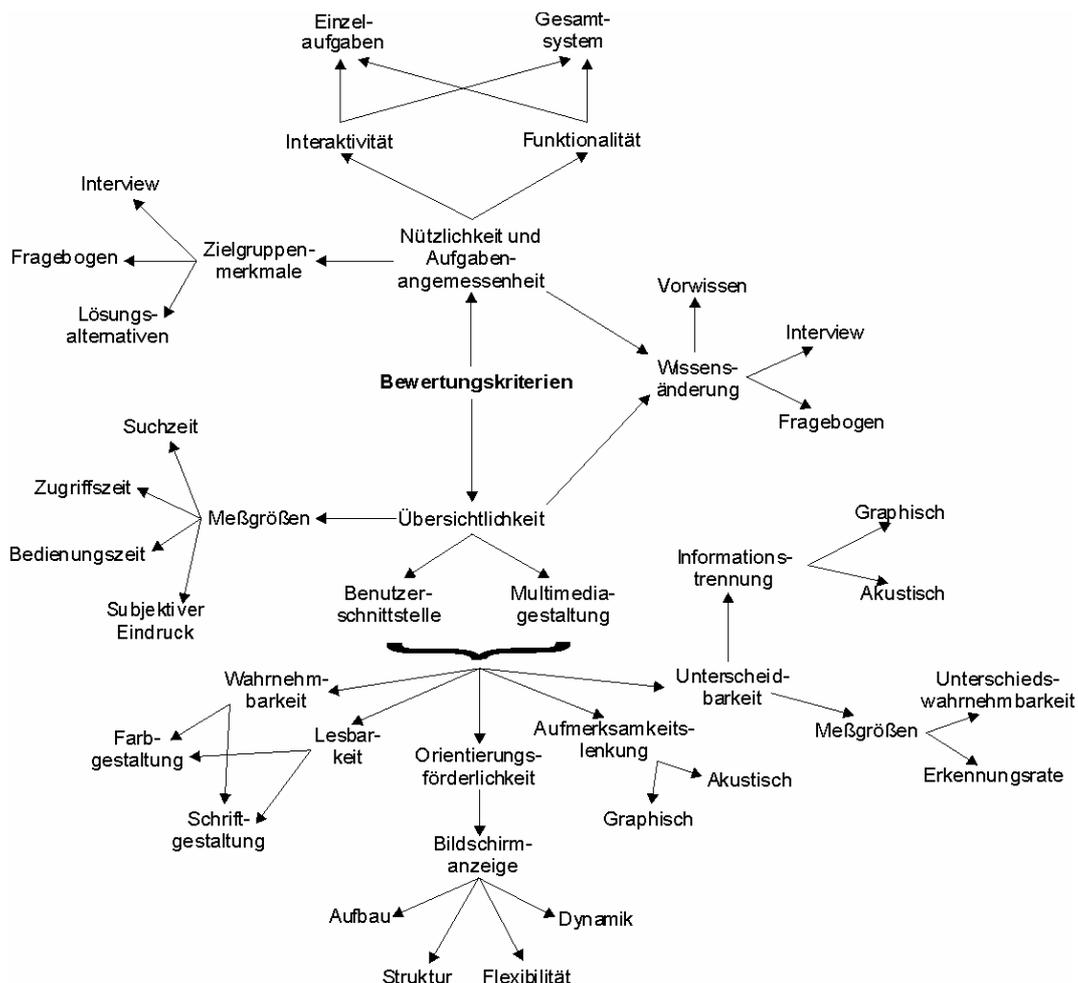


Abb. 7-4: Zusammenhänge von systemspezifischen und persönlichen Bewertungskriterien des MM-KIS (hierarchische (→) Assoziationsbeziehung)

## **7.3 Vorschläge für wahrnehmungstheoretisch ausgerichtete Experimente**

### **7.3.1 Vorbemerkung**

In den nachfolgenden Abschnitten werden Beispiele für die Untersuchung von MM-KIS gegeben. Die Zusammenstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll als Anregung dienen, unter welchen Aspekten, mit welcher Zielsetzung und mit welchen Methoden neuartige Visualisierungsmöglichkeiten untersucht werden können. Dabei kann es sich hier nur um allgemeine Vorschläge handeln, die im Einzelfall erheblich beeinflusst werden können durch das thematische Umfeld und konkrete Aufgabenstellungen.

### **7.3.2 Untersuchungen zur sensorischen Wahrnehmung**

In Kapitel 3 wurde aufgezeigt, dass bereits eine Reizvorverarbeitung auf der sensorischen Ebene des menschlichen Wahrnehmungssystems stattfindet. Ein Beispiel dafür ist die Empfindlichkeit der Netzhaut des Auges für Kontraste, Kanten und Kantenrichtungen. Diese Reize bilden das Gerüst der auf höherer Bewusstseinssebene stattfindenden kognitiven Informationsverarbeitung.

Aus gestalterischer Sicht ist es wichtig zu wissen, ob die sensorische Informationsverarbeitung prioritätengesteuert erfolgt und wenn ja, aus welchen Gründen. Aus ihnen kann auf die Wirksamkeit von Gestaltungsmitteln und Ausdrucksformen geschlossen werden, so dass in Abhängigkeit vom Hintergrund und vom gesamten Bildschirmlayout Rückschlüsse auf die Gestaltung statischer Darstellungen gezogen werden können.

Zur Untersuchung dieses Sachverhalts kann die bereits von *Sperling* (1960) beschriebene Methode der Ultrakurzzeitdarbietung eingesetzt werden. Nach dieser Methode wird eine graphische Reizvorlage, z. B. eine Kartengraphik, für ca. 50 msec dargeboten. Direkt im Anschluss an die Darbietung berichtet die Testperson über die gesehenen Inhalte durch freies Erinnern. Messgrößen sind die Reihenfolge und die Anzahl der Nennungen prägnanter Strukturen. Derartige Tests wurden bislang mit statischen Testvorlagen durchgeführt, so dass die Übertragbarkeit auf kinematographische Ausdrucksformen noch festgestellt werden muss.

### **7.3.3 Untersuchungen zur kurzzeitigen Wahrnehmung**

Im Kurzzeitgedächtnis werden Informationen, die die Aufmerksamkeitsschwelle überschritten haben, bewusst verarbeitet. Die Kapazität dieses Gedächtnisbereichs beträgt 5 bis 9 Informationseinheiten, die simultan über eine Zeitspanne von 10 bis 30 Sekunden aktiv gehalten werden können (4.3.7). Die in den Informationseinheiten gespeicherte Informationsmenge kann durch Informationsgruppierung (zeitlich, räumlich, semantisch) erhöht werden. Aus gestalterischer Sicht stellen sich hier die folgenden Fragen:

1. Mit welchen gestalterischen Mitteln wird in welchem Zusammenhang die Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Information gelenkt?

2. Welche gestalterischen Maßnahmen bewirken das Gruppieren von Informationen und welche Kapazität kann für eine Informationseinheit ermittelt werden?

Für die Beantwortung dieser Fragestellungen können alle Arten von Darstellungsformen verwendet werden. Besonders interessant für die Untersuchung der Aufmerksamkeit ist die Verwendung des Variablenmerkmals „Veränderung“ in Kombination mit graphischen und akustischen Variablen. Besonderer Schwerpunkt sollte bei derartigen Untersuchungen auf die Darstellungsumgebung gelegt werden, damit eine Aufmerksamkeitsfunktion in Abhängigkeit von der multimedialen Zusammensetzung und Strukturierung des Bildschirminhaltes entwickelt werden kann.

Die Methode zur Beantwortung der Frage 1 besteht in der Variation von aufmerksamkeitswirksamen Gestaltungsmitteln (Blinkfrequenz, Farbveränderung, Bewegung, Audiosignale usw.) bzw. der sie umgebenden Informationsdarstellung (Hintergrund, Benutzeroberfläche, Medien usw.). Als Maß für die Aufmerksamkeitswirkung kann die Zeit bis zur Identifikation von aufmerksamkeitswirksamen Gestaltungselementen verwendet werden. Auch die Anzahl identifizierter Elemente in einer festgelegten Zeitspanne ist dafür verwendbar.

Die Methode zur Beantwortung der Frage 2 besteht in der Darbietung von kartographischen Reizvorlagen, deren Inhalte einen unterschiedlichen Grad der Gruppierung aufweisen. Darüber hinaus können die gruppierungswirksamen Gestaltungsmittel variiert werden.

Eine geeignete Aufgabenstellung für Testpersonen kann z. B. darin bestehen, den Inhalt der Testvorlage zu erschließen. Die dafür benötigte Zeit ist eine geeignete Testgröße, da davon ausgegangen werden kann, dass gruppierte und strukturierte Informationen schneller erfasst werden können. Alternativ kann die Methode des freien Erinnerns angewendet werden, um festzustellen, welche inhaltliche Vorstellung (Tertiärmodell) die Testpersonen im Zuge der Aufgabenlösung erzeugen konnten. In diesem Fall ist die Menge des Erinnerten ein Maß für die Kommunikationsleistung, die jedoch über unabhängige individuelle Leistungstests normiert werden muss.

### **7.3.4 Untersuchungen zur nachhaltigen Wahrnehmung**

Die Inhalte von interaktiven und multimedialen kartographischen Darstellungsformen werden häufig nur kurzzeitig gelesen und interpretiert. Sie müssen für komplexe Analysen jedoch über das Langzeitgedächtnis reproduziert und zusammen mit aktuell sichtbaren kartographischen Darstellungen bewertet werden können. Bei der Gestaltung muss daher beachtet werden, ob ausgewählte Informationen besonders nachhaltig dargeboten werden müssen und welche Gestaltungsmittel und Gestaltungsmechanismen dafür geeignet sind. Besonders wichtig hier ist die Untersuchung der Gestaltungsmechanismen, die als praktische Umsetzung der theoretisch aufgezeigten Wissensbildungsmechanismen (4.3.6, 4.3.7) zu werten sind. Die Reizvorlagen sollten daher Elemente enthalten, die in ihrer Enkodierung variieren (singulär, dual, multimodal) oder auch in ihrer Verknüpfung (redundant, komplementär) mit weiteren Informationen.

Nach der Methode des freien Erinnerns können die aufgabenspezifisch erarbeiteten Informationen wiedergegeben werden. Dafür ist der Zugriff auf das Langzeitgedächtnis

erforderlich. Messgröße ist in diesem Fall die Menge (Anzahl, Inhalt) der erinnerten Informationen. Bei vergleichbaren Gruppen von Testpersonen, vergleichbaren Aufgabstellungen und Reizvorlagen mit unterschiedlichen Gestaltungsmerkmalen kann durch Vergleich der Messgrößen auf die Gedächtniswirksamkeit gestalterischer Maßnahmen geschlossen werden.

## **7.4 Vorschläge für nutzerorientierte Experimente**

### **7.4.1 Untersuchungen zur Wahrnehmung von Animationen**

Kartographische Animationen werden häufig verwendet, um die Dynamik von raumzeitlichen Prozessen anschaulich darzustellen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Kommunikationsleistung eine derartige Darstellungsform aufweist. Eine Messgröße dafür ist die Erkennung charakteristischer Prozessmerkmale. Dies können sein der Prozessverlauf (z. B. stetig, unstetig, alternierend), Prozessextrema (z. B. Maxima, Minima), die räumliche Verteilung des Prozesses sowie seiner Strukturen und Wechselwirkungen.

In methodischer Hinsicht kann das Beobachten und freie Erinnern angewendet werden. Messgröße ist die Erkennung der charakteristischen Prozessmerkmale. Die Testvorlagen können darüber hinaus gestalterisch variiert werden, z. B. durch graphische oder akustische Kennzeichnung der Merkmale oder Variation der Komponenten des Merkmals „Veränderung“ des multimedialen Zeichen- und Variablensystems.

Weiteren Aufschluss kann das Verhalten der Testpersonen geben. So können z. B. der Wunsch nach Wiederholung der Animationssequenz bzw. die Anzahl der Wiederholungen weitere Indizien für die Kommunikationsleistung sein (vgl. Hampe 1999).

### **7.4.2 Untersuchung zur Raumwahrnehmung unter Verwendung von perspektivischen Darstellungen**

Der besondere Vorzug perspektivischer Darstellungsformen besteht in der Wiedergabe von dreidimensionalen Räumen und Objekten. Besonderes Merkmal ist dabei die perspektivenabhängige Tiefengliederung. In Verbindung mit einer freien Perspektivwahl und unter Berücksichtigung der Wahrnehmungstheorie nach *Marr* (1982) lässt sich hypothetisch folgern, dass sich bei derartigen Darstellungsformen eine Verbesserung der Raumvorstellung (der Tertiärmodellbildung) im Vergleich zu nicht-perspektivischen Darstellungsformen ergeben müsste, da mentale Transformationen erheblich minimiert werden, wie sie z. B. bei dem Vergleich einer topographischen Karte mit einer Landschaftsperspektive erforderlich sind.

Eine Messgröße dafür kann die Zeit sein, die ein Betrachter benötigt, um sich ein Vorstellungsbild (Tertiärmodell) von einem Raumausschnitt zu verschaffen. Weitere Merkmale der Kommunikationsleistung können durch die Wiedergabe verbaler Raumbeschreibungen nach der Betrachtung eines perspektivischen Modells gewonnen werden.

In diesem Zusammenhang ist darauf hinzuweisen, dass die Ergebnisse aufgabenabhängig sind. Die Suche nach dem höchsten Gipfel in einem Modell wird eine andere Be-

schreibung hervorbringen als die Aufgabe die kürzeste Straßenverbindung zwischen zwei Orten zu identifizieren.

Eine umfassende Raumvorstellung kann durch Perspektiven nur dann vermittelt werden, wenn durch Interaktion individuelle Modellprojektionen definiert werden können. Aus diesem Grunde ist die Untersuchung von perspektivischen Darstellungsformen in Verbindung mit Interaktivität von größerer Bedeutung.

### 7.4.3 Untersuchungen zur Auswirkung der Funktionalität interaktiver perspektivischer Darstellungsformen auf die Wahrnehmung

Interaktive perspektivische Darstellungsformen können eine umfangreiche Funktionalität aufweisen, die alle Aspekte des Interaktivitätskonzeptes umfassen kann (5.6). Häufig stellt sich in diesem Zusammenhang die Frage nach deren sinnvoller Verwendung. Ein einfaches Beispiel ist die *Überhöhungsfunktion*, die genutzt werden kann, um die Morphologie eines räumlichen Sekundärmodells zu betonen und prägnant darzustellen (6.3). Zugleich wird durch die Skalierung der Höhenkomponente jedoch die Bildung des gedanklichen Tertiärmodells beeinflusst. Im Hinblick auf eine morphologisch plausible Tertiärmodellbildung ist daher eine möglichst hohe Kongruenz mit dem Primärmodell zu fordern, das durch den direkten Objektkontakt vor Ort entsteht.

In diesem Fall ist eine Messgröße der Kommunikationsleistung die Kongruenz zwischen Sekundär- und dem Primärmodell der Umwelt, die sich subjektiv in einer plausiblen Raumvorstellung äußert. Untersuchungen dazu könnten darin bestehen, dass Testpersonen sich zunächst in der Örtlichkeit einen Raumeindruck verschaffen (Primärmodellbildung), um darauf aufbauend diesen mit der Überhöhungsfunktion und der interaktiven Perspektivwahl am Sekundärmodell zu simulieren.

Weiterer Untersuchungsbedarf ist gegeben durch die Verfügbarkeit von Funktionen und Methoden der Raumsimulation. Dazu zählen z. B. die *Simulation von Licht und Schatten* im Modellraum und die *Simulation von Naturprozessen*, wie z. B. der Nebelbildung. Die Beleuchtungssimulation muss als weitgehend akzeptiert betrachtet werden, da nur mit ihrer Hilfe das Sekundärmodell perspektivisch dargestellt werden kann. Ein Verzicht auf die Beleuchtungssimulation würde den Verlust der räumlichen Gliederung bedeuten.

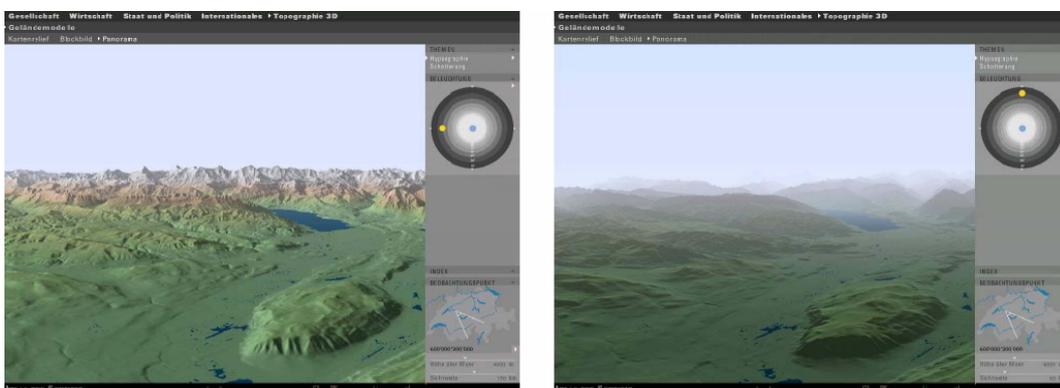


Abb. 7-5: Betonung von Reliefstrukturen durch Nebelsimulation (Entnommen aus: ©Atlas der Schweiz, © DHM 25, Landestopographie Wabern)

Interessanter hingegen ist die Fragestellung, ob die Veränderung der Beleuchtungsrichtung einen Beitrag zum räumlichen Erkenntnisgewinn leistet oder nicht. Ein mögliches Testszenario bestünde in der interaktiven Beleuchtungsvariation unter gleichzeitiger visueller Analyse der Reliefstrukturen. Testergebnis wäre der Erkenntnisgewinn, der sich im Vergleich zur Betrachtung eines stationär beleuchteten Sekundärmodells ergäbe.

Aus wahrnehmungstheoretischer Sicht bewirkt auch die Simulation von Naturprozessen, wie z. B. von Dunst oder Nebel, eine Veränderung der Modellwahrnehmung. Es entfallen einerseits Detailinformationen, so dass ein höherer Abstraktionsgrad die Folge ist. Andererseits gewinnen dadurch Landschaftsmerkmale an Prägnanz. Durch Veränderung der Beleuchtung in Kombination mit der Nebelsimulation lassen sich auf diese Weise z. B. Höhenzüge hervorheben und in der Tiefe des Raumes gegliedert darstellen. Die sich daraus ergebende Frage ist, ob diese Art der Darstellung die Qualität des Tertiärmodells erhöht oder nicht.

Eine mögliche Testaufgabe könnte darin bestehen, in einer perspektivischen Darstellung die räumlichen Strukturen mit bzw. ohne Unterstützung von Simulationsfunktionen wahrzunehmen, um das so erworbene Wissen zu einem späteren Zeitpunkt zu erinnern und verbal oder auch graphisch zu beschreiben. In diesem Zusammenhang wirkt sich auch das aktive „eigene Handeln“ auf die Wahrnehmung aus. Die Nachhaltigkeit des Erinnerten und die Qualität der Beschreibung wären in diesem Fall Merkmale für die kognitive Wirkung von Simulationsfunktionen.

Darüber hinaus dürfen auch praktische Nutzeffekte nicht unberücksichtigt bleiben. Ein Beispiel dafür ist die Berechnung von Panoramadarstellungen. Sie sind nicht nur effektiv, sondern auch geeignet, den Raumeindruck eines Nutzers zu simulieren, so dass z. B. in Verbindung mit Planungsaufgaben am Sekundärmodell das durch die Betrachtung der Realität entstehende Primärmodell simuliert werden kann. Dies lässt ebenfalls eine Verbesserung der Raumvorstellung erwarten.

#### 7.4.4 Untersuchungen zur Interaktivität von kartographischen Darstellungsformen

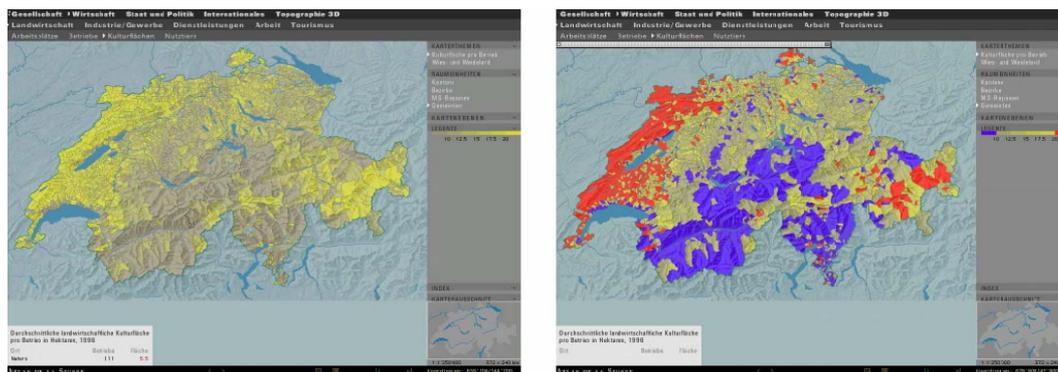


Abb. 7-6: Beispiel für eine Interaktionstrategie: Betonung von Extrema durch Einflussnahme auf die Farbgestaltung (linkes Bild: ausgewogene Farbgestaltung, rechtes Bild: Betonung durch komplementäre Farbgestaltung. Entnommen aus: Atlas der Schweiz©)

In den vorhergegangenen Abschnitten wurde vornehmlich die Auswirkung der Raumdarstellung auf die Tertiärmodellbildung diskutiert. Aspekte der inhaltlichen und thematisch ausgerichteten Interaktivität blieben unberücksichtigt. Eine bislang noch weitgehend offene Fragestellung ist die Untersuchung von *nutzerspezifischen Interaktionsstrategien*. Ihre Analyse ist eine weitere Voraussetzung für die zweckgerechte Gestaltung und die Förderung eines effizienten Kommunikationsprozesses. Ziel diesbezüglicher Untersuchungen sollte es sein grundlegende Mechanismen des interaktionsgestützten Handelns zu identifizieren, so dass diese Aktionen, bzw. deren Resultate gestalterisch berücksichtigt und bevorzugt unterstützt werden können.

Unter diesem Aspekt lautet die zu untersuchende Fragestellung ob die zur Erfassung eines Themas notwendige Interaktion typische Merkmale oder Abläufe aufweist, wie z. B. die Suche nach Extremwerten eines raumbezogenen Sachverhalts. Derartige Merkmale sind ein Ausdruck für Mechanismen der Wissensbildung und sollten daher apriori in der thematischen Gestaltung berücksichtigt werden. Dem Nutzer werden dadurch zusätzliche Interaktionen erspart. Eine Effizienzsteigerung der Kommunikation ist die Folge.

Die empirische Untersuchung einer derartigen Fragestellung bedingt die Verfügbarkeit eines Produktes mit hoher Interaktivität. Die Funktionen sollten leicht zugänglich und intuitiv bedienbar sein, damit Trainingseffekte, die z. B. durch das Erlernen der Funktionalität entstünden, vermieden werden können. Die von den Testpersonen zu lösende Aufgabe könnte darin bestehen, sich über einen thematischen Sachverhalt eine umfassende Vorstellung zu verschaffen. Die sich in diesem Zusammenhang ergebenden Interaktionsstrategien wären durch die Methode des lauten Denkens, durch Beobachtung oder durch Befragung zu ermitteln.

Unberücksichtigt geblieben ist bislang die Untersuchung von *Wechselwirkungen zwischen der Benutzeroberfläche und dem Inhalt der graphischen Darstellung des Sekundärmodells*. Auch sie müssen aufeinander abgestimmt werden, damit der kontextuelle Zusammenhang möglichst ohne zusätzlichen kognitiven Aufwand hergestellt werden kann.

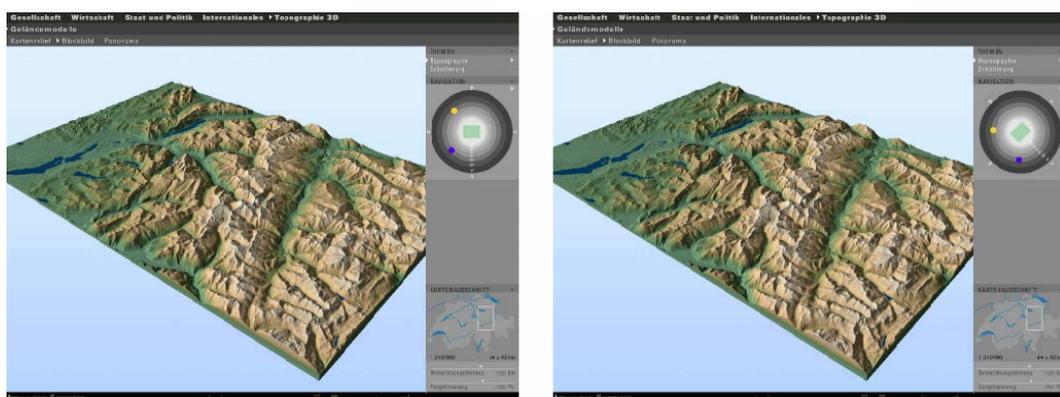


Abb. 7-7: Beispiele für die Wechselwirkung zwischen Modell- und Legendendarstellung (linkes Bild: Legende und Modell besitzen eine unterschiedliche Orientierung. Rechtes Bild: Die Legendensymbolik wird im Einklang mit dem Modell dargestellt. Entnommen aus: ©Atlas der Schweiz, © DHM 25, Landestopographie Wabern)

In Abbildung 7-7 wird dafür ein Beispiel gegeben. Gezeigt wird im Graphikbereich des Bildschirms die perspektivische Darstellung eines Blockmodells. Einflussgrößen sind der Standpunkt des Betrachters und die Position der Lichtquelle. Schematisch werden diese Informationen im Legendenbereich am rechten Bildrand dargestellt. Sie sind bezogen auf das nordorientierte Modell, während im Graphikbereich das Bezugssystem auf den Nutzer ausgerichtet ist. In der Legende wird folglich die Bewegung des Nutzers um das raumfeste Modell dargestellt, während im Graphikbereich der Nutzer eine raumfeste Position einnimmt und das Modell gedreht wird.

In diesem Beispiel kann der kognitive Aufwand durch eine andere Gestaltung der Legenden-symbolik reduziert werden, indem auch in der Legende die Modelldrehung simuliert wird. Kognitive Transformationen sind nicht mehr erforderlich.

Objektive Messgrößen lassen sich bei derartigen Konfigurationen nur schwerlich bestimmen. Untersuchungen dieser Art sind auf die Befragung von Testpersonen ausgerichtet, die nach der Bearbeitung von Aufgaben ihr subjektives Urteil bezüglich der Oberflächen-gestaltung fällen müssen.

## 8 Zusammenfassung (Summary)

Mit der preisgünstigen Verfügbarkeit von leistungsfähigen Computern und der Realisierung eines effizienten Datenaustauschs durch weltweite und öffentlich zugängliche Netzwerke hat sich ein Wandel in der Medienlandschaft vollzogen, der auch alle Bereiche der Kartographie nachhaltig beeinflusst. Moderne Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnologie ermöglichen vielfältige Arten der Visualisierung und Nutzung von Informationen, die auch für die Kommunikation von Geoinformationen zur Verfügung stehen.

Neuartige Ausdrucksformen sind vor allem geprägt durch Dynamik, Multimedialität und Interaktivität. Das Zusammenspiel dieser Kernkomponenten erhöht die Komplexität kartographischer Fragestellungen und erfordert die Erweiterung der theoretischen Grundlagen. Zu diesem Zweck wurde das kybernetische Konzept der allgemeinen Systemtheorie aufgegriffen und auf die kartographische Visualisierung übertragen. Aufgrund der für neuartige kartographische Darstellungen typischen Dynamik und der Wechselwirkungen durch Interaktion zwischen Nutzern und kartographischen Ausdrucksformen wurde der für kybernetische Ansätze typische Regelkreis auf Anwendbarkeit geprüft und als theoretische Grundlage ausgewählt. Die Überlegungen zeigen, dass auf seiner Basis die Wechselbeziehungen in einem *multimedialen kartographischen Informationsverarbeitungssystem* (MM-KIVS) beschrieben werden können. Seine wichtigsten Elemente sind der *Mensch*, das *multimediale kartographische Informationssystem* (MM-KIS) und die damit verbundenen *Darstellungs- und Ausdrucksmittel*.

Eine der wichtigsten Wechselbeziehungen im MM-KIVS ist die menschliche Fähigkeit zur Perzeption und kognitiven Verarbeitung unterschiedlichster Sinnesreize. Die analytische Betrachtung der visuellen Reizperzeption führt zur Identifikation der "*Veränderung*" als wichtiges neues Gestaltungsmerkmal, mit dem sich einerseits bewusst Aufmerksamkeit erzielen lässt und andererseits die Darstellung zeitlicher Prozesse gemäß ihrer Natur vorgenommen werden kann.

Veränderungen prägen darüber hinaus auch die akustische Informationsdarstellung, die eine weitere neuartige Ausdrucksform in einem MM-KIVS ist. In diesem Zusammenhang führt der Rückgriff auf Grundlagen der Psycho-Akustik zur Ableitung von "Tondimensionen", die logisch in das kartographische Zeichen- und Variablensystem integriert werden können. Hypothetisch lassen sich Wirkungsgemeinsamkeiten mit den graphischen Variablen herstellen, und als *gemeinsames* Merkmal von graphischen und akustischen Variablen wird die "Veränderung" mit ihren Veränderungseigenschaften eingeführt. Zusätzlich wird die Erweiterung des kartographischen Zeichensystems um die Elemente "Raumdimension", "Volumen" sowie "Ton", "Klang" und "Geräusch" vorgeschlagen. Ergebnis ist das *multimediale kartographische Zeichen- und Variablensystem*, mit dem Sekundärmodelle der Umwelt parametrisch beschrieben werden können und mit dem die audiovisuelle Reizperzeption vollständig adressiert werden kann.

Diese neuen Kommunikationsmöglichkeiten wirken sich auch auf die kognitive Verarbeitung von Geoinformationen aus, die zur Bildung individueller Tertiärmodelle der Umwelt führt. Aus diesem Grunde sind ausgewählte psychologische Wahrnehmungsmodelle analysiert worden. Dies führte zu der psychologisch begründbaren Erkenntnis, dass die

multimediale Darstellung von Geoinformationen eine mentale Modellbildung bewirkt, die aufgrund der umfassenden Nutzung von Gedächtniskapazitäten *nachhaltiger* und *leistungsfähiger* sein dürfte als die rein graphische Informationsvermittlung. Darüber hinaus zeigt die Diskussion, dass individuelles Handeln in Kombination mit Interaktivität die assoziative Bildung tertiärer Modelle der Umwelt positiv beeinflusst.

Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse, der raum-zeitlichen Charakteristik der Umwelt als wesentliches Objektmerkmal und dem darauf ausgerichteten menschlichen Wahrnehmungssinn ergab sich die Folgerung, dass zukünftig ein wesentlicher Einfluss auf die kartographische Visualisierung von der hohen Leistungsfähigkeit interaktiver 3D-Computergraphik ausgehen wird. Vor diesem Hintergrund wird mit praktischen Beispielen in die Anwendungsproblematik von kinematographischen und interaktiven dynamischen Darstellungsformen eingeführt. Letztere zeigen ihre besondere Stärke in der Verbindung von Flexibilität, Interaktivität und Anschaulichkeit.

Ein durchgreifender Beweis für die kartographisch vorteilhafte Verwendung moderner Informations- und Kommunikationstechnologie kann jedoch erst durch zusätzliche experimentelle Untersuchungen erbracht werden. Auf der Basis des MM-KIVS ist daher ein *Konzept für die Bestimmung der Kommunikationsleistung* von neuartigen Darstellungsformen erarbeitet worden. Es umfasst die Zusammenhänge zwischen Nutzermerkmalen, Darstellungsmerkmalen und Aufgabenstellungen und ist auf experimentelle Untersuchungen im Aufgaben- und Handlungskontext ausgerichtet, da nur so kognitive Verarbeitungsprozesse berücksichtigt werden können. Die Recherche zu diesem Untersuchungsaspekt hat deutlich gezeigt, dass für ganzheitliche Untersuchungsansätze die Methoden der experimentellen Kartographie erweitert werden müssen. Insbesondere mangelt es in experimenteller Hinsicht an einem statistisch gesicherten kartographischen Testinventar und an kartographisch ausgerichteten Methoden zur Ermittlung von nutzer- und darstellungsabhängigen Einflussgrößen sowie einheitlichen Aufgabenstellungen, die zur Bestimmung einer Kommunikationsleistungsfunktion verwendet werden können.

Vorschläge für wahrnehmungstheoretisch ausgerichtete Experimente und nutzerorientierte Untersuchungen auf der Basis der vorgestellten praktischen Entwicklungen beschließen die Konzeption der kartographischen Visualisierung.

Mit diesen Ergebnissen möge die Diskussion um eine methodisch-theoretische Weiterentwicklung der Kartographie angeregt werden, um neue Möglichkeiten der Informationsdarstellung für die effiziente und nachhaltige Kommunikation von Geoinformationen zu erschließen (vgl. Kelnhofer u. Lechthaler 2000).

Due to the availability of cheap and powerful computers as well as worldwide public networks for efficient data exchange, the use of information and communication media is strongly influencing all aspects of cartography. Modern developments of the information- and communication technology support various methods of information visualization and use. These methods are now available for the communication of geoinformation, too.

New forms of cartographic depictions are possible. Their main characteristic is the dynamic use through interactivity and multimedia information. The combination of those components leads to an increasing complexity in cartography. This requires the enhancement of the theoretical fundamentals of cartography, because mutual impacts

through interaction between users and cartographic information systems have to be modeled. Taking this into account, the cybernetic control loop of the general systems theory was analyzed and adapted to cartographic visualization. The investigations of this work show, that the control loop is very useful to describe the relations within a *multimedia cartographic information processing system*. Its main elements are the *users*, the *multimedia cartographic information system* and its *cartographic forms of expression*.

One of the most important relations within a multimedia cartographic information processing system is the human ability of perception and cognitive processing of various stimuli. With respect to the enhancement of the cartographic theory and its dynamic elements, the visual perception was analyzed. The cartographic variable "change" was identified as most important, because "change" can be used to design the attentiveness of symbols, signatures and displays, as well as temporal processes e. g. by cartographic animations.

A new form of expression in multimedia cartography is acoustics. The variable "change" appears in this type of media as well. "Change" belongs to the "tone dimensions" which are described by the theory of psycho-acoustics. Hypothetically, tone dimensions can be logically integrated into the cartographic system of variables. Both systems are combined by the variable "change" as their one and only common variable. Additionally, it is suggested, to enhance the cartographic system of variables by the elements "spatial dimension", "volume", "sound", "tone" and "noise". The result of this integration is the *multimedia cartographic system of variables*. It can be used to describe secondary models of the environment and to address the acoustic and visual perception of stimuli completely.

Those new ways of cartographic communication influence the cognitive processing of geoinformation and the mental construction of individual tertiary models of the environment. In order to identify, how multimedia geoinformation is mentally processed, different models of perception were analyzed. This leads to the recognition, that multimedia design of geoinformation causes a mental model processing, which is more sustainable and efficient than that of a pure graphical design. Interactivity supports this, too.

Taking this into account and considering, that the human sense is especially adapted to perceive the spatial-temporal characteristics of the environment, the conclusion can be drawn, that in future a main impact for cartographic visualization will come from interactive and dynamic 3D-computer graphics. Hence, practical examples for cartographic use of animations and interactive dynamic depictions are included in this work.

To prove the hypotheses of this work, experiments have to be done. For this reason, a concept for the determination of the communication performance of interactive multimedia depictions was developed. It comprises the relations between user characteristics, design characteristics and specific tasks. The investigations on this aspects have shown that holistic perception experiments require new methods within experimental cartography. Particularly, a statistically proven test inventory is required to detect user- und visualization dependent parameters for the determination of the communication performance. Hence, experiment proposals conclude the conception of cartographic visualization.

Those results might force the discussion of methodological and theoretical cartographic development to open up new cartographic possibilities for the efficient and sustainable communication of geoinformation (see Kelnhofer u. Lechthaler 2000).

## 9 Literaturverzeichnis

- Anderson, J. R.; *Kognitive Psychologie*. Spektrum der Wissenschaft, Heidelberg, 1988, 427 S.
- ARL; *Aufgabe und Gestaltung von Planungskarten*. Forschungs- und Sitzungsberichte 185, Akademie für Raumforschung und Landesplanung. Hannover, 1991, 282 S.
- Albertz, J. (Hrsg.); *Wahrnehmung und Wirklichkeit. Wie wir unsere Umwelt sehen, erkennen und gestalten*. Schriftenreihe der Freien Akademie, Band 17, Berlin, 1997, 263 S.
- Albertz, J.; *Sehen, Wahrnehmen und die Wirklichkeit*. In: (Albertz 1997), S. 9 - 40.
- Asendorpf, J. B.; *Psychologie der Persönlichkeit. Grundlagen*. Springer, Berlin, 1996, 363 S.
- Atkinson, R. C., R. M. Shiffrin; *Human memory: A proposed system and its control processes*. In: (Spence u. Spence 1968). Zitiert von *Engelkamp* (1991/97), *Zimbardo* (1995).
- Ballstedt, St.-P.; *Integrative Verarbeitung bei audiovisuellen Medien*. In: (Böhme-Dürr 1990), S. 185 - 196.
- Barkowsky, T., Freksa, C.; *Cognitive Requirements on Making and Interpreting Maps*. In: (Hirtle u. Frank 1997). S. 347 –361.
- Bäumler, C. E.; *Lernen mit dem Computer*. Beltz Verlag, Weinheim und Basel, 1991, 112 S.
- Baumann, K., J. Döllner, K. Hinrichs, O. Kersting; *A Hybrid, Hierarchical Data Structure for Real-Time Terrain Visualization*. Proceedings Computer Graphics International 1999, IEEE Computer Society, S. 85 - 92.
- Bell, G., A. Parisi, M. Pesce; *The Virtual Reality Modelling Language, Version 1.0 Specification* (Draft), November 1994.
- Bertin, J.; *Semiologie Graphique*. Gauthier-Villars, Paris, 1967, 431 S.
- Bertin, J.; *Graphische Darstellungen. Graphische Verarbeitung von Informationen*. Verlag Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1981, 275 S.
- Bill, R.; *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*. Band 1, Karlsruhe, 1999, 454 S.
- Bill, R.; *Multimedia-GIS, Concepts and Applications*. Geo-Informationssysteme (GIS), Heft 2, 1998, S. 21 – 24.
- Board, C.; *Maps as Models*. In: (Chorley u. Haggett 1967), S. 671 – 725.
- Bollmann, J.; *Aspekte kartographischer Zeichenwahrnehmung*. Bonn-Bad Godesberg, 1981, 94 S.
- Bollmann, J., M. Johann, F. Heidmann; *Kartographische Bildschirmkommunikation*. Forschungsbericht. Beiträge zur kartographischen Informationsverarbeitung, Band 13, Universität Trier, 1999, 93 S.
- Böhme-Dürr, K. (Hrsg.); *Wissensveränderung durch Medien: Theoretische Grundlagen und empirische Analysen*. Saur-Verlag, München, 1990, 310 S.
- Borchert, A.; *Zur Normierung des Herstellungsverfahrens hypermedialer Atlanten*. In: (SGK 1996). S. 189 - 202
- Bortz, J.; *Lehrbuch der empirischen Forschung*. Springer-Verlag, Berlin, 1984, 649 S.
- Brewer, C. A.; *Color Use Guidelines for Mapping and Visualization*. In: (MacEachren u. Taylor 1994), S. 123 – 148.
- Brewer, C. A.; *Spectral Schemes: Controversial Color Use on Maps*. Cartography and Geographic Information Systems, Vol. 24, No. 4, 1997, S. 203 – 200.
- Brodersen, L.; *Aspekte der graphischen Gestaltung komplexer Wirtschaftskarten in Schulatlanten*. Institut für Kartographie, ETH Zürich, 1986, 167 S.
- Busch, M.; *Planungskartographie – Konzeption und Entwurf von Pflege-, Begleit- und Entwicklungsplänen im Rahmen der Naturschutzfachplanung*. Diplomarbeit am Inst. f. Kartographie, Universität Hannover, unveröffentlicht, 1997.

- Buziek, G.; *Neuere Untersuchungen zur Dreiecksvermaschung*. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Heft 105, 1990, S. 41 - 53.
- Buziek, G., D. Grünreich, I. Kruse; *Digitale Landschaftsmodellierung: Stand und Entwicklung der digitalen Landschaftsmodellierung mit dem Topographischen Auswertesystem der Universität Hannover (TASH)*. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, Heft 2, 1992, S. 84 – 88.
- Buziek, G.; *Zur Visualisierung von raumbezogenen Daten mit modernen Methoden der Computergraphik*. In: Visualisierung von Umweltdaten. Hrsg. R. Denzer u. a., Band 3, Umwelt-Informatik aktuell, Metropolis-Verlag, Marburg, 1994, S. 75 - 89.
- Buziek, G.; *Kartographische Visualisierung von Geo-Daten unter Berücksichtigung moderner technischer Entwicklungen*. In: "GIS in Forschung und Praxis"; G. Buziek, GIS-AG der Universität Hannover (Hrsg.), Stuttgart 1995, S. 234 - 250.
- Buziek, G.; *The Design of a Cartographic Animation - Experiences and Results*. Proceedings of 18th Int. Cartographic Conference, Volume 3, Stockholm, 1997(a), S. 1344 - 1351.
- Buziek, G.; *Das Potential moderner Informations- und Kommunikationstechnologien aus Sicht der Kartographie*. Kartographische Schriften. GIS und Kartographie im multimedialen Umfeld. Band 2. Kirschbaum-Verlag, Bonn, 1997(b), S. 17 - 25.
- Buziek, G.; *Überlegungen und Beispiele zur Legendengestaltung in kartographische Animationen*. GeoViSC, Workshop zur Visualisierung raumbezogener Daten: Methoden und Anwendungen, GIO, Geoinformatik Online (GIO), <http://gio.uni-münster.de>, Ausgabe 3/97, 1997(c).
- Buziek, G.; *Wahrnehmungstheoretische Grundlagen, Gestaltungsprinzipien und Beispiele für die animierte kartographische Visualisierung eines Überflutungsprozesses*. Workshop-dokumentation Hypermedia im Umweltschutz, FAW, Metropolis-Verlag, 1998, S. 251 - 266.
- Buziek, G.; *Dynamic Elements of Multimedia Cartography*. In: (Cartwright, Peterson, Gartner 1999), S. 231 - 244.
- Buziek, G.; J. Döllner; *Concept and Implementation of an Interactive, Cartographic Virtual Reality System*. In: CD-ROM, Proceedings of ICA 1999, Ottawa, 1999, S. 89 - 99.
- Buziek, G.; *Legend designs for noninteractive cartographic animations*. Computers and Geosciences, 26, Elsevier, London, 2000, S. 21-28.
- Buziek, G.; D. Dransch, W.-D. Rase; *Dynamische Visualisierung - Grundlagen und Anwendungsbeispiele für kartographische Animationen*. Springer Verlag, Berlin, 2000, 234 S.
- Card, St. K., T. P. Moran, A. Newell; *The Psychology of Human-Computer Interaction*. Lawrence Erlbaum Associates, London, 1983, 469 S.
- Caspary, W.; *Genauigkeit als Qualitätsmerkmal digitaler Datenbestände*. In: (Grünreich, Buziek 1992), S. 157 – 166.
- Cartwright, W.; *Interactive multimedia for mapping*. In: (MacEachren u. Taylor 1994), S. 63 – 89.
- Cartwright, W.; *New media and their application to the production of map products*. Computers and Geosciences, Vol. 23, No. 4, Mai 1997, S. 447 – 456.
- Cartwright, W.; M. P. Peterson; G. Gartner(Eds.); *Multimedia Cartography*. Springer Verlag, Berlin, 1999, 343 S.
- Cartwright, W.; *Development of multimedia*. In: (Cartwright, Peterson, Gartner 1999), S. 11 – 30.
- Chorley, R. J., P. Haggett; *Models in Geography*. Methuen, London, 1967, 816 S.
- Coquillart, S., M. Gangnet; *Shaded display of digital maps*. IEEE Computer Graphics and Applications. July 1984, Vol. 4, S. 35 - 42.
- DGfK, Deutsche Gesellschaft für Kartographie; *Kartographie und Geo-Informationssysteme. Grundlagen, Entwicklungsstand und Trends*. Kirschbaum Verlag, Bonn, 1993, 139 S.
- DGfK, Deutsche Gesellschaft für Kartographie; *GIS und Kartographie im multimedialen Umfeld. Grundlagen, Anwendungen, Entwicklungstrends*. Kirschbaum Verlag, Bonn, 1997, 138 S.
- DeLucia, A. A., D. W. Hiller; *Natural Legend Design for Thematic Maps*. Cartographic Journal, Vol. 19, S. 46-52.
- Dent, B. D.; *Cartography. Thematic Map Design*. 4. Auflage. Dubuque, 1996, 434 S.

- DiBiase, D.; A. M. MacEachren; J. B. Krygier; C. Reeves; *Animation and the role of map design in scientific visualisation*. CaGIS, Vol. 19, No. 4, 1992, S. 201 - 214.
- DiBiase, D., C. Reeves, J. Krygier, A. M. MacEachren, M. von Weiss, J. Sloan, M. Detweiler, *Multivariate Display of Geographic Data*. In: (MacEachren u. Taylor 1994), S. 287 - 312.
- Ditz, R.; *An Interactive Cartographic Information System of Austria – Conceptual Design and Requirements for Visualization on Screen*. In: (ICA 1997), S. 571 – 578.
- Döllner, J.; *Objektorientierte kartographische Visualisierung*. In: (Buziek, Dransch, Rase 2000). S. 61 - 82.
- Dorling, D.; *Stretching space and splicing time: from cartographic animation to interactive visualization*. In: Cartography and Geographic Information Systems, Vol. 19, No. 4, October 1992, S. 215 –227.
- Dransch, D.; *Temporale und nontemporale Computer-Animation in der Kartographie*. Berliner geowissenschaftliche Abhandlungen. Reihe C, Kartographie, Band 15. FU Berlin, Berlin, 1995, 123 S.
- Dransch, D.; *Computer-Animationen in der Kartographie. Theorie und Praxis*. Springer Verlag, Berlin, 1997, 145 S.
- Dransch, D.; *Medienpsychologische Aspekte beim Einsatz von Multimedia in GIS*. Kartographische Schriften, Band 2, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1997. S. 26 – 30.
- Dransch, D.; W.-D. Rase; *Software für die Erstellung von kartographischen Animationen*. In: (Buziek u. a. 2000). S. 129 - 140.
- Durwen, K.-J.; *Digitaler landschaftsökologischer Atlas auf Grundlage des Informations-Systems*. In: SGK (1996), S. 227 - 235.
- Dutke, S.; *Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens*. Göttingen, 1994, 212 S.
- Ehlschlaeger, C. R., A. Shortridge; *Modeling elevation uncertainty in geographical analysis*. In: (SDH 1996), S. 9B15 - 9B25
- Emmerich, S.; *Kartographische Visualisierung als Komponente eines GIS für die Verkehrsentwicklungsplanung*. Diplomarbeit am Institut für Kartographie, Universität Hannover, 1999, unveröffentlicht.
- Engelkamp, J.; *Das menschliche Gedächtnis*. 2. Auflage, Hogrefe Verlag für Psychologie, Göttingen, 1991, 555 S.
- Engelkamp, J.; *Das Erinnern eigener Handlungen*. Hogrefe Verlag für Psychologie, Göttingen, 1997, 255 S.
- Fairbairn, D., S. Parsley; *The use of VRML for Cartographic Presentation*. Computers and Geosciences. 23(4), 475-482.
- Fairbairn, D., G. Andrienko, N. Andrienko, G. Buziek, J. Dykes; *Representation and its relationship with cartographic visualisation: a research agenda*. CaGIS, Vol 28(1), 2001, S. 13 - 28.
- Fisher, P.; J. Dykes, J. Wood; *Map Design and Visualization*. The Cartographic Journal. Vol. 30, Dezember, 1993., S. 136 - 142.
- Fisher, P.; *Animation and sound for the visualization of uncertain spatial information*. In: (Hearnshaw u. Unwin 1994), S. 181 – 185.
- Flechtner, H.-J.; *Grundbegriffe der Kybernetik. Eine Einführung*. 4. Auflage, Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart, 1969, 423 S.
- Freibichler, H.; *Werkzeuge zur Entwicklung von Multimedia*. In: (Issing u. Klimsa 1995). S. 221-240
- Freitag, U.; *Semiotik und Kartographie. Über die Anwendung kybernetischer Disziplinen in der theoretischen Kartographie*. Kartographische Nachrichten, 21. Jg., Heft 5, Kartographisches Institut Bertelsmann, Gütersloh, 1971a, S. 171 – 182.
- Freitag, U.; *Die Kartenlegende – nur eine Randangabe?* Kartographische Nachrichten, Heft 37, S. 42 – 49, 1987.
- Freitag, U.; *Kartographische Konzeptionen*. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen. Reihe C, Band 13. Berlin, 1992, 343 S.

- Freitag, U.; *Semiotik und Kartographie - Über die Anwendung kybernetischer Disziplinen in der theoretischen Kartographie*. 1971b, In: (Freitag 1992), S. 1 - 14.
- Freitag, U.; *Systems Approach to Thematic Cartography*. 1977, In: (Freitag 1992), S. 15 - 19.
- Freitag, U.; *Five selected main theoretical issues facing cartography - 1. Map Functions*. In Kanakubo, T. (Ed.), *Cartographica*, 30 (4), 1993, S. 1 - 6.
- Fritsch, D.; *Raumbezogene Informationssysteme und digitale Geländemodelle*. Habilitationsschrift, TU München, München, 1990, 126 S.
- Fröhlich, M.; *Beleuchtungstechniken für Realzeitanforderungen in der Computergraphik*. Der GMD-Spiegel, Heft ¾, 1992, S. 64 – 67.
- Fürst, U.; F. Scholles; *Zur Verwendung von Perspektivdarstellungen in Planungsprozessen*. Persönliche Gespräche zur Erörterung der Problematik, Hannover, 30.8.1999.
- Galitz, W. O.; *The essential guide to user interface design : an introduction to GUI design principles and techniques*. New York, Wiley, 1997, 626 S.
- Gartner, G.; *Kartographie und Internet*, In: SGK (1996), S. 239 - 246.
- Gibson, J. J.; *Wahrnehmung und Umwelt*. Urban & Schwarzenberg, München, 1982. 356 S.
- Glaser, W. R.; Systemtheorie. In: (Straub u. a. 1997).
- Glassner, A. S.; *Ray Tracing for Realism*. Byte, December 1994, S. 263 – 271.
- Green, D. R.; S. Horbach; *Colour – Difficult to Both Choose and Use in Practice*. The Cartographic Journal. Vol. 35, No. 2, S. 169 – 180.
- Grohmann, P.; *Alters- und geschlechtsspezifische Unterschiede im Einprägen und Wiedererkennen kartographischer Fächensignaturen*, Verlag der österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 1975. 74 S.
- Growe, S.; P. Schulze, R. Tönjes; *3D Visualization and evaluation of remote sensing data*. IEEE-Proceedings of Computer Graphics International '98, Hannover, 1998, S. 455 – 465.
- Grünreich, D.; *Aufgabe und Bedeutung der kartographischen Visualisierung in Geo-Informationssystemen (GIS)*, in: (Buziek 1995), S. 225 - 233.
- Grünreich, D., G. Buziek (Red.); *Gewinnung von Basisdaten für Geo-Informationssysteme*, Schriftenreihe des DVW, Band 4, Konrad Wittwer Verlag, Stuttgart, 1992, 166 S.
- Grünreich, D.; *Kartographie 2000 - Perspektiven der Kartographie in der Informationsgesellschaft*. Kartographische Nachrichten, 47. Jg., Heft 5, 1997., S. 180 - 188.
- Grünreich, D.; *Forschung zur kartographischen Modellierung – Ansätze, Ergebnisse, offene Probleme*. In: Das Geoinformationssystem ATKIS und seine Nutzung in Wirtschaft und Verwaltung. LVA Baden-Württemberg, Stuttgart, 1998, S. 83 - 93.
- Grünreich, D.; *Untersuchungen zu den Datenquellen und zur rechnergestützten Herstellung des Grundrisses großmaßstäbiger topographischer Karten*. Wissenschaftliche Arbeiten der Universität Hannover, Hannover, 1985, 98 S.
- Guski, R.; *Wahrnehmung*. Grundriss der Psychologie, Band 7, Verlag W. Kohlhammer, Stuttgart, 1989.
- Gutounik, A.; *Konzeption und prototypische Realisierung eines internetbasierten kartographischen Informationssystem der Universität Hannover*. Diplomarbeit, Inst. f. Kartographie, unveröffentlicht, 1997.
- Haack, J.; *Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia und Hypermedia*. In: (Issing und Klimsa 1995). S. 151 – 166.
- Häberling, Chr.; *Symbolization in topographic 3D-maps: conceptual aspects for user-oriented design*. In: (ICA 1999), S. 62 - 69.
- Hackos, J. T., J. C. Redish; *User and task analysis for interface design*. Wiley and Sons, New York, 1998, 487 S.
- Hake, G.; *Kartographie und Kommunikation*. Kartographische Nachrichten (KN), 23. Jg., Heft 4, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1973, S. 137 – 148.

- Hake, G.; *Digitale Geländemodelle – Begriffe, Merkmale und Anforderungen*. Begleitendes Lehrmaterial zum Seminar Wattvermessung, IfK, Universität Hannover, 1980.
- Hake G.; *Kartographie I*, 6. Aufl. Slg. Göschen, deGruyter, Berlin, 1982, S. 342.
- Hake, G., D. Grünreich; *Kartographie*. 7. Auflage, Walter de Gruyter, Berlin, 1994, 599 S.
- Hampe, M.; *Konzeption und Gestaltung von animierten kartographischen Darstellungen für die Prüfung ihrer Kommunikationsleistung*. Diplomarbeit am Institut für Kartographie der Universität Hannover, 1999, unveröffentlicht.
- Hasebrook, J.; *Lernwirksamkeit von Multimedia- und Hypermedia-Systemen*. Gutachten im Auftrag des Büros für Technologiefolgenabschätzung des Deutschen Bundestages. Mannheim, 1994, 101 S.
- Hasebrook, J.; *Multimedia-Psychologie*. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1995, 330 S.
- Hatger, C.; *Untersuchungen von VRML 2.0 und JAVA für die kartographische Visualisierung von Geo-Daten*. Diplomarbeit am Institut für Kartographie, Universität Hannover, 1997, unveröffentlicht.
- Hearn, Donald, M. Pauline Baker, *Computer Graphics*, Second Edition, New Jersey, 1994, 652 S.
- Hearnshaw, H. M.; D. J. Unwin (Hrsg.): *Visualization in Geographic Information Systems*. John Wiley & Sons, Chichester, 1994, 243 S.
- Hebb, D.; *The organization of behaviour: A neuropsychological theory*. Wiley, New York, 1949. Zitiert von *Zimbardo* (1995).
- Hecht, H.; *Die elektronische Seekarte: Stand der Entwicklung und Anforderungen an die hydrographischen Dienste*. In: (Buziek, Behrens, Egge 1995), S.130 –143.
- Hecht, H., B. Berking, G. Büttgenbach, M. Jonas; *Die elektronische Seekarte. Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen eines neuen Navigationssystems*. Wichmann Verlag, Heidelberg, 1999, 262 S.
- Heidmann, F.; *Aufgaben- und nutzerorientierte Unterstützung kartographischer Kommunikationsprozesse durch Arbeitsgraphik*. Reihe Forschen und Wissen - Informatik, Universität Trier, GCA-Verlag, Herdecke, 1999, 431 S.
- Herzog, W.; *Zum Kartenverständnis des Bürgers – Ein Beitrag zur empirischen Planungskartographie*. Kartographische Nachrichten, Heft 6, 1986, S. 211 – 217.
- Hirtle, S., A. Frank (Red.); *Spatial Information Theory: A theoretical basis for GIS*. Springer Verlag, Berlin, 1997, 540 S.
- Hofer, K. C., H. Zimmermann; *Web-Design und Wahrnehmung – eine Web Wirkungsanalyse*. Die Argonauten, München, 1998, 122 S.
- Hubel, D. H.; *Auge und Gehirn. Neurobiologie des Sehens*. Spektrum-der-Wissenschaft-Verlagsgesellschaft, Heidelberg, 1989, 238 S.
- Hubel, D. N., T. N. Wiesel; *Die Verarbeitung visueller Information*. In: (SpdW 1986), S. 36-47
- Hurni, L., H.-R. Bär, R. Sieber; *The atlas of Switzerland as an interactive multimedia atlas information system*. In: (Cartwright, Peterson, Gartner 1999), S. 99 - 112.
- ICA 1993: Proceedings of 16<sup>th</sup> International Cartographic Conference, Vol. I/II, Köln, 1993.
- ICA 1995: Proceedings of 17<sup>th</sup> International Cartographic Conference, Vol. I/II, Barcelona, 1995, 2916 S.
- ICA 1996: Proceedings of the Seminar on „Teaching Animated Cartography“. Madrid, 1995. ITC, Enschede, 1996, 118 S.
- ICA 1997: Proceedings of 18<sup>th</sup> International Cartographic Conference, Vol. I – IV, Stockholm, 1997, 2275 S.
- ICA 1999: Proceedings of 19<sup>th</sup> International Cartographic Conference, Vol. I /II, Ottawa, 1999, 1908 S.
- Imhof, E.; *Kartographische Geländedarstellung*. Walter de Gruyter, Berlin, 1965, 425 S.
- International Research Institute for Climate Prediction (IRI). <http://iri.ldeo.columbia.edu/iri>. Zugriff: 26.10.1998.

- Issing, L. J., P. Klimsa; *Information und Lernen mit Multimedia*. Psychologie-Verlags-Union, Weinheim, 1995, 238 S.
- Jackson, C.; *Testen und getestet werden. Was man über moderne Psychodiagnostik wissen sollte*. Verlag Hans Huber, Bern, 1999, 238 S.
- Jäger, E., J. Schulz; *Beschreibung der im Diskursprojekt „Bedarf an analogen Kartenprodukten“ vorgestellten Kartenvarianten – Gestaltungsgrundsätze, Herstellungsaufwand* -. Nachrichten der Nds. Kataster- und Vermessungsverwaltung. 49. Jg., Nr. 1, 1999, Hannover, S. 24 - 29.
- Jiang, B., A. Brown, F.-J. Ormeling; *Some perceptual aspects of colouring uncertainty*. In: (SDH 1996), S. 8A29 - 8A42.
- Kalivoda, M. T.; J. W. Steiner; *Taschenbuch der Angewandten Psychoakustik*. Springer Verlag, Wien, New York, 1998, 226 S.
- Kebeck, G.; *Wahrnehmungspsychologie*. Kurseinheit 1 bis 3, Fernuniversität Hagen, 1991,
- Kelnhöfer, F., A. Pammer, G. Schimon; *Prototype of an interactive multimedia atlas of Austria*. In: (Cartwright, Peterson, Gartner 1999).
- Kelnhöfer, F. A., M. Lechthaler; *Interaktive Karten (Atlanten) und Multimedia-Applikationen*. Geowissenschaftliche Mitteilungen. Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessungswesen und Geoinformation. TU Wien, Nr. 53, 2000. 107 S.
- Kerres, M.; *Technische Aspekte multimedialer Lern-Lehrmedien*. In: (Issing u. Klimsa 1995). S. 25 – 46.
- Kersting, O.; *Objektorientierte Modellierung von Komponenten der 3D-Visualisierung von 3D-Gelände-Informationen*. Institut für Informatik, Universität Münster, Diplomarbeit, unveröffentlicht, 1998, 105 S.
- KGH (Hrsg); *Beiträge zur Regionalen Entwicklung. Nahverkehrsplan 1997*. Kartenband. Kommunalverband Großraum Hannover (KGH), Hannover, 1997.
- Klimsa, P.; *Multimedia aus psychologischer und didaktischer Sicht*. In: (Issing u. Klimsa 1995). S. 7 - 24.
- Kluwe, R. H., P. Schulze; *Gestaltungsgrundsätze für komplexe Informationsdarstellung*. Ergonomische Studien. Bericht Nr. 37. Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung. Bonn, 1994, 218 S.
- Knizhnikov, Y. F.; *Neurocartography – New Trend for Research in Theoretical Cartography*. In: (ICA 1997), 288 – 293 S.
- Koch, W. G.; *Beiträge zur experimentellen Kartographie unter besonderer Berücksichtigung der Abstufung von Helligkeitsskalen sowie des Einflusses von Wahrnehmungstäuschungen in thematischen Karten*. TU Dresden, 1988, 198 S.
- Koch, W. G.; *Experimentelle Kartographie – nutzbare Ergebnisse und neue Fragestellungen*. Kartographische Schriften, Band 1, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1993, S. 23 – 31.
- Köbben, B., Yaman, M.; *Evaluating dynamic visual variables*. In: ICA 1996, S. 45 - 52.
- Köhler, W.; *Gestalt Psychology. An Introduction to New Concepts in Modern Psychology*. Mentor Book. The New American Library, New York, 1947, 222 S.
- Koppe, H.; *Entwicklung und Anwendung eines Bewertungsverfahrens für elektronische Atlanten*. Diplomarbeit am Institut für Kartographie, Universität Hannover, 1997, unveröffentlicht.
- Koussoulakou, A.; *Computer-assisted cartography for monitoring spatio-temporal aspects of air pollution*. Delft University Press, Delft, 1990, 239 S.
- Kraak, M.-J.; *Computer-assisted cartographical three-dimensional imaging techniques*. Delft University Press, Delft, 1988, 173 S.
- Kraak, M.-J.; *Interactive modelling environments for three-dimensional maps: Functionality and Interface Issues*. In: (MacEachren u. Taylor 1994), S. 269 - 285
- Kraak, M.-J., A. Klomp; *A Classification of Cartographic Animations*. In: ICA (1996), S. 29 - 35.
- Kraak, M.-J., F. Ormeling; *Cartography. Visualization of spatial data*. Addison Wesley, Harlow, 1996, 222 S.

- Kraak, M.-J., R. Edsall, A. M. MacEachren; *Cartographic animations and legends for temporal maps: Exploration and or interaction*. In: (ICA 1997), S. 253 - 260.
- Kriz, K., G. Häfele; *Perspektiven zur kartographischen Visualisierung der dritten Dimension im Hochgebirge*. In: SGK (1996), S. 99 - 109.
- Krygier, J. B.; *Sound and Geographic Visualization*. In: (MacEachren u. Taylor 1994), S. 149 – 166.
- Kuhn, W.; *Handling data spatially: Spatializing user interfaces*. In: (SDH 1996), S. 13B1 - 13B23.
- Kühnel, R.; *Die Java-Fibel, Programmierung interaktiver Homepages für das World Wide Web*, Bonn, Massachussetts, 1996.
- Lachenmayr, B. J.; *Sehen und gesehen werden : sicher unterwegs im Straßenverkehr*. Shaker Verlag, Aachen, 1995, 221 S.
- Lange, E.; *Kartographische Daten als Grundlage zur Synthese der virtuellen Welt*. In: (SGK 1996), S. 110 - 119.
- Lenk, U., D. Grünreich, G. Buziek; *Interdisciplinary Ecological Planning of Floodplain Areas on the Basis of ATKIS - Conception and first Results*. In: Proceedings of the 3rd Joint European Conference on Geographical Information, Wien, 1997, S. 728 - 737.
- Lechner, P.; *Medizinisch-hygienische Methoden der Lärmbeurteilung*. In: (Kalivoda u. Steiner 1998), S. 42 –93.
- Leukert, K.; W. Reinhardt, S. Seeberger; *GIS-Internet Architekturen*. Zeitschrift für Vermessungswesen, ZfV, Heft 1, 2000, S. 23 - 28.
- Lindholm, M., T. Sarjakoski; *Designing a visualization user interface*. In: (MacEachren u. Taylor 1994), S. 167 – 184.
- Lloyd, R.; *Spatial Cognition. Geographic Environments*. Kluwer, Dordrecht, 1997, 287 S.
- Löbel, G., H. Schmid, P. Müller (Hrsg.), *Lexikon der Datenverarbeitung*. München, 1969.
- Loibl, W., H. Mayer; *Animationen zur Ozonbelastung in Österreich und zum Pannonischen Ozonprojekt*. In: (Buziek u. a. 2000). S. 175 - 198.
- Lutterbach, D.; *Auswirkungen der Bildschirm-Visualisierung auf die kartographische Darstellung der raumbezogenen Planung*. Schriftenreihe des Instituts für Kartographie und Topographie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Heft 24, 1997, 134 S.
- Mach, R., T. Lege; *Visualisierung digitaler Geländedaten der BAW*. In: (Schmidt und Uhlenkücken 1999), S. 121 - 138.
- MacEachren, A. M., D. R. F. Taylor; *Visualization in Modern Cartography*. Elsevier Science, New York, 1994, 345 S.
- MacEachren, A. M.; *Visualization in Modern Cartography: Setting the Agenda*. In: (MacEachren u. Taylor 1994), S. 1 - 12.
- MacEachren, A. M., C. Brewer, L. W. Pickle; *Mapping Health Statistics: Representing Data Reliability*. In: (ICA 1995), S. 311 - 319.
- MacEachren, A. M.; *How Maps Work. Representation, Visualization, and Design*. The Guilford Press, New York, London, 1995, 513 S.
- MacEachren, A. M., *Visualization of Uncertainty in Meteorological Forecast Models*. In: Proceedings of Spatial Data Handling, Delft, 1996, S. 8A17 - 8A28.
- MacEachren, A. M., M.-J. Kraak, E. Verbree; *Cartographic issues in the design and application of geospatial virtual environments*. In: (ICA 1999), S. 657 – 665.
- Magyar, M.; *Die Wahrnehmbarkeit von Größenunterschieden geometrischer Signaturenformen – Eine grundlagenorientierte kartographische Wahrnehmungsstudie*. Kartographische Nachrichten, Heft 6, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1995, S. 205 – 215.
- Malic, B.; *Physiologische und technische Aspekte kartographischer Bildschirmvisualisierung*. Heft 25, Schriftenreihe des Inst. f. Kartographie und Topographie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, 1998, 192 S.
- Mallie, C.; *From Fishplotter to ECDIS*. Hydro International, Vol. 1, Nr. 2, April 1997, S. 36 – 39.
- Mandel, T.; *The elements of user interface design*. Wiley and Sons, New York, 1997, 440 S.

- Marr, D.; *Vision : a computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco, W.H. Freeman, 13. Auflage (1996), 1982, 397 S.
- Matthias, E.; *Ein modulares kartographisches Auskunftssystem. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen*, Reihe I, Heft Nr. 115, Frankfurt a.M., 1996.
- McGuinness, C., V. Ross; *User interactions with alternative map displays in a GIS environment*. In: ICA 1995, S. 2004 - 2014.
- McCormick, B. H.; M. D. DeFanti, M. D. Brown; *Visualization in Scientific Computing*. Special Issue, ACM SIGGRAPH, Computer Graphics, 1987.
- Meili, R.; H. Rohracher (Hrsg.); *Lehrbuch der experimentellen Psychologie*. 3. Auflage, Verlag Hans Huber, Bern, 1972, 502 S.
- Meissner, R.; *Animation von Satellitendaten*. In: (Buziek u. a. 2000). S. 199 - 210.
- Mentz, A.; *Zur Gestaltung kartographischer Animationen – Grundlagen und Anforderungen unter besonderer Berücksichtigung der Legendengestaltung*. Diplomarbeit am Institut für Kartographie, Universität Hannover, unveröffentlicht, 1997.
- Metzger, W.; *Gesetze des Sehens*. Verlag Waldemar Kramer, Frankfurt a. M., 1975, 676 S.
- Mietzel, G.; *Wege in die Psychologie*. Klett-Cotta, Stuttgart, 1996, 474 S.
- Miller, S.; *Design of multimedia mapping products*. In: (Cartwright, Peterson, Gartner 1999), S. 51 – 63.
- Miller, G. A.; *The magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits of our Capacity for Processing Information*, Psychological Review, No. 6, 1956.
- Mintert, S.; *JavaScript, Grundlagen und Einführung*, Bonn, 1996.
- Mishkin, M.; T. Appenzeller; *Die Anatomie des Gedächtnisses*. In: (SpdW 1990).
- Moellering, H.; *The real-time animation of three dimensional maps*. American Cartographer, Vol. 7, No. 1, 1980, S. 67 – 75.
- Molenaar, M.; *The extensional uncertainty of spatial objects*. Vol. 2, In: (SDH 1996), S. 9B1 - 9B13.
- Moles, A. A.; *Informationstheorie und ästhetische Wahrnehmung*. Verlag DuMont Schauberg, Köln, 1971, 283 S.
- Monmonier, M.; *Strategies for the interactive exploration of geographic correlation*. In: (SDH 1990), S. 512-521.
- Moore, K.; *VRML and JAVA for interactive 3D Cartography*. In: (Cartwright u. a. 1999), S. 205 - 216.
- MOORE, K., J. DYKES, J. WOOD; *Using Java to interact with geo-referenced VRML within a Virtual Field Course*. Draft Paper. <http://www.geog.le.ac.uk/mek/usingjava.html>, 1997.
- MPEG-7; *Coding of moving pictures and audio*. Moving Pictures Expert Group. <http://www.cselt.it/mpeg/>. Letzter Zugriff: 4.6.1999.
- Müller, H. M.; *Evolution, Kognition und Sprache*. Verlag Paul Parey, Berlin, 1987, 157 S.
- Müller, K.; *Allgemeine Systemtheorie*. Westdeutscher Verlag, Opladen, 1996, 381 S.
- Muller, J.-C.; U. Grebe; *Lingo, eine Scriptsprache für die Herstellung animierter und interaktiver Karten*. In: (Buziek u. a. 2000). S. 97-128.
- Neisser, U.; *Kognition und Wirklichkeit*. 2. Auflage, Klett Cotta Verlag, 1996, 176 S.
- Neisser, U.; *Cognitive Psychology*. New York, Appleton-Century-Crofts, 1967, 351 S.
- Nelson, E. S., D. Dow, C. Lukinbeal, R. Farley; *Visual Search Processes and the Multivariate Point Symbol*. Cartographica, Vol. 34, No. 4, Winter 1997, 29 - 33.
- Neves, N., J. P. Silva, P. Concalves, J. Muchaxo, J. M. Silva, A. Camara; *Cognitive Spaces and Metaphors: A Solution for Interacting with Spatial Data*. Computers and Geosciences, Vol. 23, No. 4, 1997, S. 483 – 488.
- Norman, K. L.; *The Psychology of Menu Selection: Designing Cognitive Control at the Human/Computer Interface*. Ablex Publishing Corporation, 1991, 252 S.

- Oed, F.: *Synthetische Welten - Visuelle Kommunikation mit modernen Medien*. In: (Stankowski/Duschek 1989), S. 297 - 236.
- Ogrissek, R.: *Erkenntnistheoretische Grundlagen und Erkenntnisgewinnung in der Kartographie*. Kartographische Bausteine 3, TU Dresden, 1982, 78 S.
- Olbrich, G., M. Quick, J. Schweikhardt, *Computerkartographie*, Berlin, Heidelberg, 1990, 268 S.
- Olbrich, S., H. Pralle; *Multimedia und Virtual-Reality-Techniken für die wissenschaftliche Visualisierung*. In: (Buziek u. a. 2000). S. 41 - 60.
- Oppermann, R., B. Murchner; *Software-ergonomische Evaluation : der Leitfaden EVADIS II*. de Gruyter, Berlin, 1992, 331 S.
- Ottoson, P.: *Virtual Reality in Visualization, Planning and Design of Roads*. In: Proceedings of ICA 1999, Ottawa. S. 785 - 792.
- Palm, G.; *Assoziatives Gedächtnis und Gehirntheorie*. In: (SpdW 1990).
- Paivio, A. *Mental Representations*. A dual coding approach. University Press, Oxford, 1986, 322 S.
- Papay, G.; *Funktionen der kartographischen Darstellungsformen*. In: Petermanns Geographische Mitteilungen, Heft 3, 1973, S. 234 - 239.
- Pravda, J.: *Map expression, map semiotics, map language*. In: (ICA 1993).
- Pravda, J.: *Some developmental traits of theoretical cartography*. In: (ICA 1995).
- Pawlow, I. P.; *Ausgewählte Werke*. Akademie-Verlag, Berlin, 1953, (zit. von Müller 1987).
- Peterson, M. P.; *Mentale Bilder in der kartographischen Kommunikation*. Kartographische Nachrichten, 34. Jg., Heft 6, Kirschbaum Verlag, Bonn, 1984. S. 201 - 206.
- Peterson, M. P.; *Cognitive Issues in Cartographic Visualization*. In: (MacEachren u. Taylor 1994), S. 27 - 43.
- Peterson, M.P.; *Cartographic Animation on the Internet*, In: (ICA 1995), 1995(a).
- Peterson, M. P.; *Interactive and Animated Cartography*. Prentice Hall, New Jersey, 1995(b), 257 S.
- Peterson, M. P.; *Trends in internet map use*. In: (ICA 1997), S. 1635 – 1642.
- Post, H.-J.; *Neue Realitäten. Virtual Reality als kostbares Spielzeug*. c't, Heft 19, 1999, S. 98 – 103.
- Pylshyn, Z. W.; *The Imagery Debate: Analogue Media versus Tacit Knowledge*. Psychological Review, 88, 16-45, 1981.
- Rapoport, A.; *Allgemeine Systemtheorie. Wesentliche Begriffe und Anwendungen*. Verlag Darmstädter Blätter, 1988, 265 S.
- Rase, W.-D.; *Kartographische Darstellung dynamischer Vorgänge in computergenerierten Filmen*. Kartographische Nachrichten, Heft 6, 1974, S. 210 – 215.
- Rase, W.-D.; *Visualisierung von Planungsinformationen. Modellierung und Darstellung immaterieller Oberflächen*. Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Hrsg.), Forschungen, Heft 89, Bonn, 1998, 204 S.
- Reddy, M., L. Iverson, Y. G. Leclerc; *Under the Hood of GeoVRML 1.0*, Proceedings of the Web3D-VRML 2000, S. 23-28.
- Reik, G., C. Zemke, B. Kesper, D.P.F. Möller; *Dynamische Virtual Reality Modelle in Geotechnischen Anwendungen*. In: (Schmidt und Uhlenküken 1999), S. 35 - 44.
- Reimer, U.; *Einführung in die Wissensrepräsentation*. Leitfäden der angewandten Informatik. B. G. Teubner, Stuttgart, 1991, 313 S.
- Rey, B. M.; *Piktogramme und ihre Bedeutung in der Kartographie*. Bochumer geographische Arbeiten, Geographisches Institut der Ruhr-Universität, Heft 66, Bochum 1999, S. 110.
- Rhyne, T. M.; *Open Spatial Data Transfer Standards*. Open Spatial Data Standards for the Information Highway (Examining Dynamically Linked Geographic Visualization) [URL:http://www.gis.psu.edu/ica/icavis/rhyne.html](http://www.gis.psu.edu/ica/icavis/rhyne.html), 1996.
- Rhyne, T. M.; *Collaborative Geographic Visualization*. Vortrag auf dem Workshop „Geoinformation Modeling and Visualization“, Computer Graphics International '98, Hannover, 23. Juni 1998, persönliches Gespräch.

- Riekert, W.-F., Tochtermann, K. (Hrsg.); *Hypermedia im Umweltschutz*. Reihe Umweltinformatik aktuell, Metropolis Verlag, Marburg, 1998, 285 S.
- Rock, I.; *Wahrnehmung: Vom visuellen Reiz zum Sehen und Erkennen*. Spektrum-der-Wissenschaft-Verlagsgesellschaft, Heidelberg, 1985.
- Rost, J.; *Testtheorie Testkonstruktion*. Psychologie-Lehrbuch, Verlag Hans Huber. Bern, 1996, 431 S.
- RRZN 1995; *Internet. Eine Einführung in die Nutzung der Internet-Dienste*. Regionales Rechenzentrum für Niedersachsen, Universität Hannover, Hannover, 1995, 188 S.
- Sachs, L.; *Angewandte Statistik. Statistische Methoden und ihre Anwendungen*. Springer Verlag, Berlin, 1978, 552 S.
- Schermer, F. J.; *Lernen und Gedächtnis*. Grundriss der Psychologie, Band 10, Verlag W. Kohlhammer, Urban-Taschenbücher, Berlin, 1991, 191 S.
- Schick A.; *Schallwirkung aus psychologischer Sicht*. Klett-Cotta, Stuttgart, 1979, 270 S.
- Schlichtmann, H.; *Functions of the Map Legend*. In: (ICA 1997), Vol. 1, 430 S.
- Schlimm, R.; *Aufbau eines kartographischen Informationssystems im World-Wide-Web*. Kartographische Nachrichten, Kirschbaum Verlag, Bonn, Heft 1, 1998, S. 1 – 8.
- Schmidt, R. F.; *Neuro- und Sinnesphysiologie*. 3. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 1998, 485 S.
- Schmidt, B., C. Uhlenkücken; *Visualisierung raumbezogener Daten: Methoden und Anwendungen*. Beiträge zum 2. GeoViSC-Workshop, IfGIprints, Heft 6, Inst. f. Geoinformatik, Münster, 218 S.
- Schmidt-Falkenberg, H.; *Grundlinien einer Theorie der Kartographie*. Nachrichten aus dem Karten- und Vermessungswesen. Reihe I, Heft 22, Frankfurt a. M., 1962, 37 S.
- Schneider, B.; *Bestimmung des Stickprobenumfangs bei biomedizinischen Experimenten*. Institut für Biometrie. Medizinische Hochschule Hannover, 1998, 26 S.
- Schnotz, W.; *Wissenserwerb mit Diagrammen und Texten*. In: (Issing u. Klimsa 1995). S. 85 – 106.
- Schoppmeyer, J.; *Farbproduktion in der digitalen Kartographie und ihre theoretischen Grundlagen*. Habilitationsschrift, Frankfurt, 1991, 179 S.
- Schoppmeyer, J.; *Farbgestaltung und Farbbehandlung vor dem Hintergrund der digitalen Kartographie*. In: (DGfK 1993), S. 32 – 38.
- Schröder, F.; *Animation meteorologischer Daten für Massenmedien*. In: (Buziek u. a. 2000), S. 159 - 174.
- SDH 1990; *Proceedings of 4<sup>th</sup> International Symposium on Spatial Data Handling*, Brassel, K., Kishimoto, H. (Eds.), Vol. I/II, Zürich 1990, International Geographical Union.
- SDH 1996; *Proceedings of 7<sup>th</sup> International Symposium on Spatial Data Handling*, Kraak, M. J. and M. Molenaar (Eds.), Vol. I/II, Delft 1996, International Geographical Union.
- Seel, N. M.; *Wissen, Lernen und Kommunikation*. In: (Böhme-Dürr 1990), S. 263 - 284.
- Seiffert, H.; Radnitzky, G.; *Handlexikon zur Wissenschaftstheorie*. Deutscher Taschenbuch Verlag (DTV), 2. Auflage, München, 1994, S. 502.
- Seitelberger, F.; *Die Wahrnehmung von Raum und Zeit - Aspekte der Neurobiologie*. In: (Albertz 1997), S. 109 - 130.
- SGfK; *Kartographie im Umbruch - neue Herausforderungen, neue Technologien*. Beiträge zum Kartographiekongress Interlaken, Kartographische Publikationsreihe, Band 14, Schweizerische Gesellschaft für Kartographie, 1996, 359 S.
- Shiffer, M. J.; *Augmenting Collaborative Planning: Multimedia Spatial Decision Support Systems*. GIS, Heft 1, 1996, S. 31 – 32.
- Sieber, R.; *Visuelle Wahrnehmung dreidimensionaler parametrisierter Objekte und Objektgruppen*. Geographisches Institut, Universität Zürich, 1996, 275 S.
- Sieber, R.; H.-R. Bär; *Atlas der Schweiz – Multimedia Version. Adaptierte GIS-Techniken und qualitative Bildschirmgraphik*. In: (DGfK 1997), S. 67 - 77.

- Sieber, R., H. R. Bär; *Das Projekt Interaktiver Multimedia Atlas der Schweiz*. In: SGK (1996), S. 211 - 226.
- Sieber, R., C. Oberholzer, A. Terribilini; *Animationen im interaktiven Atlas der Schweiz*. In (Buziek u. a. 2000). S. 141 - 158.
- Siemoneit, M.; *Multimedia: Präsentationen planen, gestalten, durchführen*. Addison Wesley, Bonn, 1995, 255 S.
- Snodgrass, J. G.; *Concepts and their Surface Representations*. Journal of verbal learning and verbal behaviour. 23, 1984, S. 3 - 23.
- Spektrum der Wissenschaft (SpdW); *Wahrnehmung und visuelles System*. Spektrum-der-Wissenschaft-Verlags-gesellschaft, Heidelberg, 1986, 220 S.
- Spektrum der Wissenschaft (SpdW); *Gehirn und Kognition*. Spektrum-der-Wissenschaft-Verlags-gesellschaft, Heidelberg, 1990, 207 S.
- Sperling, G.; *The information available in brief visual presentations*. Psychological monographs 74, No. 498. Zitiert von Schermer (1991)
- Spieß, E.; *Attraktive Karten - Ein Plädoyer für gute Kartengraphik*. In: (SGfK 1996), S. 56 - 69.
- Stankowski, A., K. Duschek.; *Visuelle Kommunikation: Ein Design-Handbuch*. Dietrich Reimer Verlag, Berlin, 1989, 340 S.
- Stary, Chr.; *Interaktive Systeme*. Vieweg Verlag, Braunschweig/Wiesbaden, 1996, 423 S.
- Straub, J.; W. Kempf; H. Werbig (Hrsg.); *Psychologie. Eine Einführung. Grundlagen, Methoden, Perspektiven*. DTV, München, 1997, 783 S.
- Stryer, L.; *Die Sehkaskade*. In: Spektrum der Wissenschaft (1990), S. 32 - 41.
- Swanson, J.; *The cartographic possibilities of VRML*. In: (Cartwright, Peterson, Gartner 1999), S. 181 - 194.
- Tergan, O.-S.; *Hypertext und Multimedia: Konzeption, Lernmöglichkeiten, Lernprobleme*. In: (Issing u. Klimsa 1995)., S. 121 - 137.
- Terhardt, E.; *Akustische Kommunikation. Grundlagen mit Hörbeispielen*. Springer Verlag, Berlin, 1998, 505 S.
- Testzentrale 1996, *Katalog psychologischer Testverfahren*. [www.testzentrale.de](http://www.testzentrale.de)
- Teufert, J. F.; J. Harbor; *Bewertung des Anwendungspotentials von digitalen Fernerkundungsdaten für die „Out-Of-Area“-MilGeo-Beratung*. Militärgeographischer Dienst der Bundeswehr, Schriftenreihe, Heft 32, Euskirchen, 1998.
- Tittel, K.; *Beschreibende und funktionelle Anatomie des Menschen*. 12. Auflage, Gustav Fischer Verlag, Jena, Stuttgart, 1994, 429 S.
- Ucar, D.; *A semiotical approach to typology of the map signs*. In: (ICA 1993).
- Uhlenkükén, C., B. Schmidt, U. Streit; *Zur Einsetzbarkeit von Workbench-Umgebungen für geowissenschaftliche und planerische Fragestellungen*. In: (Schmidt und Uhlenkükén 1999), S. 45 - 58.
- Väänänen, K.; *Metaphor-Based User Interfaces for Information Authoring, Visualization and Navigation in Multimedia Environments*. Verlag Shaker, Aachen, 1995.
- Vanecek, E.; *Experimentelle Beiträge zur Wahrnehmbarkeit kartographischer Signaturen*. Forschungen zur theoretischen Kartographie, Band 6, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien, 1980, 146 S.
- Van der Schans, R.; *Grenzüberschreitende Interaktionen mit Modellen und Karten*. Begleitmaterial zum Vortrag auf dem deutsch-niederländischen Kartographentag, Maastricht, 17-21.5.1999.
- Vester, F.; *Denken, Lernen, Vergessen*. 20. Auflage. Deutscher Taschenbuch Verlag, München, 1993, 190 S.
- Visvalingham, M.; *Visualization in GIS, Cartography and ViSC*. In: (Hearnshaw und Unwin 1994), S. 18 - 25.

- von Benda, H.; *Leitfaden zur benutzergerechten Gestaltung der Dialogschnittstelle für Bildschirmarbeitsplätze von Sachbearbeitern in Büro und Verwaltung*. Stollmann GmbH, Hamburg, 1986, 116 S.
- W3C; *Synchronized Multimedia Integration Language*. <http://www.w3.org/Audio/Video>. Letzter Zugriff: 4.6.1999.
- WAPForum, *Wireless Application Protocol*, Home-Page und Spezifikationen, <http://www.wapforum.org/>. Letzter Zugriff: 23.9.1999.
- Wegner, H.; *Anwendung dreidimensionaler Geodaten in der Raumplanung am Beispiel der kombinierten Anwendung von CAD, GIS und VRML*. In: (Schmidt und Uhlenkücken 1999), S. 15 – 34.
- Weidenmann, B.; *Lernen mit Bildmedien*. Beltz Verlag, Weinheim, Basel, 1994, 100 S.
- Weidenmann, B.; *Abbilder in Multimedia-Anwendungen*. In: (Issing u. Klimsa 1995). S. 107 - 121.
- Wimmer, H.; J. Perner; *Kognitionspsychologie*. Verlag W. Kohlhammer, Urban-Taschenbücher, Berlin, 1979, 287 S.
- Wolodtschenko, A.; *On The Present Status of Cartosemiotics*. In: (ICA 1997), S. 602 - 608.
- Wood, M.; *Visualization in Historical Context*. In: (MacEachren u. Taylor 1994), S. 13 - 26.
- Wood, M.; K. Brodli; *ViSC and GIS: Some Fundamental Considerations*. In: (Hearnshaw u. Unwin 1994), S. 3 - 8.
- Woodsford, P.; *ENC Data Production*. Hydro International, Vol. 1, Nr. 2, April 1997, S. 40 –43.
- Zanini, M.; *3D-Modellierung und Visualisierung kartographischer Raster- und Vektordaten*. In: (SGK 1996), S. 120 - 132.
- Zedi, R.; *Interaktive und animierte 3D-Szenen in VRML*. In: (Buziek u. a. 2000). S. 83 - 96.
- Zimbardo, P. G.; *Psychologie*. 6. Auflage, Springer Verlag, Heidelberg, 1995, 851 S.
- Zehner, B., Barrass, S., Plate, J., Göbel, M., Fröhlich, B.; *Interaktive Visualisierung und Validierung geophysikalischer Daten in virtuellen Umgebungen*. In: Schmidt u. Uhlenkücken (1999), S. 59 - 72.