Die approbierte Originalversion dieser Dissertation ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (http://www.ub.tuwien.ac.at).

The approved original version of this thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/).

Ein semiotisches Modell für die kartografische Kommunikation mit 3D

Dipl. Ing. Markus Jobst

Wien, am 26.04.2008

TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN

VIENNA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

D I S S E R T A T I O N

Ein semiotisches Modell für die kartografische Kommunikation mit 3D

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der technischen Wissenschaften unter der Leitung von

Univ.Prof. Mag.rer.nat. Dr.rer.nat. Georg Gartner

E127/2
Institut für Geoinformation und Kartographie
eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Mathematik und Geoinformation

von

Dipl. Ing. Markus Jobst
Matr. Nr. 9126346
Obere Augartenstraße 18/4/26
A-1020 Wien

begutachtet von:

Prof. Eur.-Ing. Dipl.-Geol. Dr.phil.habil. Manfred F. Buchroithner
Institut für Kartographie, Technische Universität Dresden

Prof. Dr. rer. nat. habil. Jürgen Döllner
Computergrafische Systeme, Hasso-Plattner-Institut an der Universität Potsdam

Univ.Prof. Mag.rer.nat. Dr.rer.nat. Georg Gartner
Institut für Geoinformation und Kartographie, Technische Universität Wien

Wien, am 26.04.2008

Kurzfassung

Die fortschreitende Digitalisierung und Paradigmenänderung der modernen Kartografie eröffnet neue Forschungbereiche der GIScience, die einerseits von intensiveren Vermittlungsmethoden bei raumbasierten Informationen und andererseits vom vielfach öffentlichen Zugang zu und allgemeiner Partizipation bei der Geoinformation geprägt sind. Die allgemeine Partizipation bei der Geoinformation wird mit verfügbaren Meßgeräten zur Datenaufnahme (GPS Empfänger) und geeigneten globalen Plattformen des Internet für den Datenaustausch vorangetrieben. Aus dieser massiven Geodatenverfügbarkeit entstehen mit leistungsfähigen Verarbeitungsgeräten, das sind heutzutage weit verbreitete und leistbare Personalcomputer bzw. Notebooks, neue und intensivere Vermittlungsmethoden der mediumspezifisch aufbereiteten Geodaten. Die intensiveren Vermittlungsmethoden verfolgen das Ziel, die raumbasierte Information unmissverständlich und möglichst eindringlich an die Rezipienten zu liefern.

Die vorliegende Forschungsarbeit untersucht notwendige Adaptierungen visualisierungsmethodischer Parameter im Kontext mit perzeptionsgerechter Informationsaufbereitung, medienkonformer Abhängigkeiten und psychologischer Grundgrößen bei der kartografischen Kommunikation mit 3D. Die Gestaltungsmechanismen der 3D Computergrafik, die für eine realitätsnahe Raumsimulation mit eindringlicher Wirkung beim Betrachter geschaffen sind, erweitern das herkömmliche semiotische Modell der grafischen Variablen und -Elemente. Dabei sind gegenseitige Einflüsse zwischen den Gestaltungsmechanismen, grafischen Variablen und psychologischen Verarbeitungsschritten beobachtbar. Die positive Argumentation für die 3D Visualisierungsmethodik in der digitalen Kartografie stützt sich dabei auf aktuelle Erkenntnisse der Kommunikationsforschung [Bonfadelli 2004, Merten 1977, Müller 2003], Lerntheorien, Wissensakquisition und menschlichen Verarbeitungsprozesse. Die aus dieser Arbeit resultierende semiotische Struktur berücksichtigt die Grundlagen perzeptionsgerechter Bildschirmkartografie [Malic 1998, Neudeck 2001], medienspezifischer Eigenschaften und Grundlagen der Computergrafik.

Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit betreffen sämtliche kartografische Anwendungsbereiche, in welchen 3D Präsentationsformen für den raumbasierten Vermittlungsprozess eingesetzt werden und führt darüber hinaus. Denn die gesamtheitliche Darstellung der kartografischen Kommunikation als humantechnische Massenkommunikation, die einen Kreislauf bildet, ermöglicht nicht nur eine Zuordnung der 3D relevanten Prozesse, sondern auch sämtlicher wissenschaftlich aktiven Forschungsbereiche der GIScience. Die erarbeitete semiotische Struktur und die ausgeführten Überlegungen dieser Arbeit ermöglichen für die kartografische Kommunikation mit 3D solche Optimierungen, die die Präsentationsfläche ebener Übertragungsmedien besser ausnutzen, Informationsinhalte anpassen und die Wirkung auf psychologische Prozesse berücksichtigen. Mit diesen Optimierungsmöglichkeiten werden neue wegweisende Perspektiven für den Einsatz von 3D in der Kartografie, z.B. in Fahrzeugnavigationssystemen oder 3D Stadtmodellen, aufgezeigt.

Abstract

The ongoing digitalisation and the development of paradigms in modern cartography create new research fields in GIScience, which are characterized by more intense transmission methods for geospatial information on one hand and public access and participation in geoinformation on the other. Public participation in geoinformation is pressed ahead with common accessible measurement units (GPS receivers) for data acquisition and appropriate global platforms of the Internet for data exchange. Resulting from this massive availability of geodata and efficient processing units, that are formed by easy accessible personal computers or notebooks nowadays, new and more effective methods for the transmission of media-specific geodata evolve. More effective transmission methods follow the aim to provide information in a more immersive and unmistakable way.

This research at hand investigates necessary adaptations of visualization parameters for cartographic communication with 3D in context with perceptual information preparation, media conform dependencies and psychological base items. Design mechanisms of 3D computer graphics, which are created for the simulation of a more realistic and immersive virtual space, expand the traditional semiotic model of graphical values and elements. Mutual influences between design mechanisms, graphical variables and cognitive processing become observable. A positive argumentation for the use of 3D presentation methods in digital cartography bases on actual discoveries of communication science [Bonfadelli 2004, Merten 1977, Müller 2003], learn theories, knowledge acquisition and cognitive processing. The resulting semiotic structure of this research regards perceptional fundamentals of cartography on displays [Malic 1998, Neudeck 2001], media-specific characteristics and basics of computer graphics.

The results of this research concern all cartographic application areas that use 3D presentation forms for geospatial information transmission and goes beyond. Since the holistic description of cartographic communication as human-technological mass-communication, which forms a circle, does not only enable the allocation of all 3D relevant processes, but also considers all scientific research areas of GIScience. The acquired semiotic structure and all considerations of this work enable optimizations of the cartographic communication with 3D, which take better advantage of transmitting media, adapt information content and consider the effects of cognitive processing. With these optimizations pioneering perspectives for the use of 3D in cartography, like in car navigation systems or virtual 3D city models, can be demonstrated.

Danksagung

Die vorliegende Doktorarbeit ist meiner Familie gewidmet, die in diesen intensiven Jahren der Forschung und Publikationstätigkeit mit gleichzeitiger universitärer Lehre und Administrationstätigkeit die andauernde berufliche Spannung und freitzeitliche Entbehrung mit mir teilte. Besonders möchte ich meiner Frau Beatrix für ihre unendliche Geduld und ihr andauerndes Verständnis bei meinem ausgedehnten beruflichen Zeitmanagement danken. Nur mit diesem privaten Rückhalt und der umfassenden familiären Unterstützung war es mir möglich, die intensiven Studien oftmals am Wochenende und in der Nacht durchzuführen.

Meinem Betreuer Univ.Prof. Georg Gartner danke ich für sein Vertrauen und der wissenschaftlichen Anleitung, die durch zahlreiche Diskussionen bewerkstelligt wurde. Gleichzeitig erleichterte er mir die Kontaktaufnahme mit prominenten Persönlichkeiten der wissenschaftlichen Kartografie, die in vielen persönlichen Diskussionen ihren Beitrag für mein Verständnis der modernen Kartografie lieferten. Ich genoss diese interaktive Vorgehensweise im familiären Umfeld der Forschungsgruppe Kartographie der Technischen Universität Wien, in welchem meine Kollegen mit freundschaftlichem Verhältnis immer hilfsbereit zur Seite standen.

Univ.Prof. Manfred Buchroithner sei für sein persönliches Engagement, mir den intensiven Einblick in die Lentikularlinsentechnik zu ermöglichen, mit verschiedenen Lentikular-Bildschirm Herstellern Kontakt aufzunehmen und die Wiener Internet- und Telekartografie in die Dresdner Lehre zu bringen, gedankt. Es war eine Freude mit den Dresdnern Studenten die interaktive Lehrveranstaltung durchzuführen und in dessen Rahmen bei der ersten Echtzeit 3D Kartografie Videokonferenz dabei sein zu dürfen. Die interessanten Diskussionen mit Univ.Prof. Buchroithner führten uns manchmal zu unseren österreichischen Wurzeln im internationalen kartografischen Kontext.

Univ.Prof. Jürgen Döllner danke ich besonders für sein offenes Verständnis zur modernen Kartografie, welches sich als fruchtbares Fundament für die wissenschaftliche Kooperation von Computergrafik, Geovisualisierung und 3D Kartografie etablierte. Ich schätze seine ehrliche Selbstverständlichkeit, mit der ich in das Team des computergrafischen Lehrstuhls des Hasso-Plattner-Instituts der Universität Potsdam integriert wurde. Basierend auf dieser Integration möchte ich mich bei zwei Potsdamer Kollegen für ihre Zusammenarbeit herzlich bedanken. Stefan Maaß ist für mich ein bedeutender Diskussionspartner im Bereich der Beschriftungen von virtuellen 3D Welten. Er hat maßgeblich den psychologischen Test im vierten Kapitel gestaltet und durchgeführt. Haik Lorenz realisierte die Projektionsvariationen für 3D Stadtmodelle im LandXPlorer System und gab so viele neue Impulse für weitere Kooperationen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung....3
1.1 Motivationen für diese Arbeit....3
1.2 Hypothese und Fragestellungen....4
1.3 Vorgehensweise (Konzept – Untersuchung – Verifikation)....5
1.4 Relevanz, erwartete Ergebnisse und wissenschaftlicher Beitrag....6
1.5 Aufbau dieser Arbeit....8
2 Theoretische Grundlagen der kartografischen Kommunikation....10
2.1 Kommunikationstheorien....11
2.1.1 Die Karte im Kontext der visuellen Kommunikation....14
2.1.2 Begrifflichkeiten und Gültigkeitsbereiche der Kommunikation....16
2.1.3 Bedeutende Kommunikationsmodelle....21
2.1.4 Der Begriff Medium....29
2.1.5 Intelligenz und erfolgreiche Kommunikation....31
2.1.6 Grundlagen interaktiver Systeme (in der Kommunikation)....33
2.1.7 Problematik der Direktionalität bei der Kommunikation mit interaktiven Systemen....35
2.1.8 Zusammenfassung „Kommunikationstheorien und -modelle“....37
2.2 Der kartografische Kommunikationsprozess....39
2.2.1 Kreislauf der kartografischen Kommunikation....39
2.2.2 Zuordnung von 3D Elementen im kartografischen Kommunikationskreislauf....42
2.2.3 Zugeordnete Wissenschaftsbereiche....45
2.2.4 Kartografische Modellbildungen....46
2.3 Lerntheorien, räumliche Wissensvermittlung und die menschliche Psychologie....56
2.3.1 Metaphern – Eigenschaften....59
2.3.2 Entwicklungsphasen der menschlichen Psychologie als räuml. Verständigungsgrundlage....63
2.3.3 Eine mögliche Trennung von Kognition und Perzeption....66
2.4 Physiologische Eigenschaften der vis. Sensorik als menschl. Parameter der Informationstiefe....70
2.4.1 Die Lichtwahrnehmung....71
2.4.2 Das monokulare geometrische Auflösungsvermögen....72
2.4.3 Das stereoskopische Auflösungsvermögen - die physiologische Tiefenwahrnehmung....73
2.5 Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen....75
3 Geo-Medientechnische Rahmenbedingungen....77
3.1 Semiotische Grenzen für 2D Darstellungen auf Bildschirmen....79
3.1.1 Bildschirmtechnologien....79
3.1.2 Zusammenhang von Bildschirmtechnik und Auflösung des Informationsmittels....85
3.1.3 Zusammenhang des Auflösungsvermögens des Auges mit der Betrachtungsdistanz....88
3.1.4 Semiotische Richtgröße....89
3.1.5 Ausgewählte Richtwerte für kartografische Elemente bei der Bildschirmpräsentation....90
3.2 Weitere Übertragungsmedien und deren Charakteristik....92
3.2.1 Hardcopy....92
3.2.2 Softcopy....97
3.3 Klassifizierung der digitalen Übertragungsmedien im Einsatz für 3D....106
3.3.1 Physiologische Tiefenwahrnehmung....107
3.3.2 Psychologische Tiefenwahrnehmung....107
3.3.3 Klassifizierung der Übertragungsmedien....108

3.3.4 Wirkung und Besonderheiten der Geo-Medientechnik für 3D....110
3.4 Zusammenfassung der Geo-Medientechnik....111
4 Strukturierung eines semiotischen Modells für 3D....112
4.1 Eigenschaften von 3D Präsentationen....114
4.1.1 Der Berechnungsablauf - die Renderingpipeline....114
4.1.2 Voraussetzungen in 3D (Licht, Kamera, Textur)....118
4.1.3 Begrifflichkeiten der virtuellen Umgebung....122
4.1.4 Eigenschaften des 3D Environments/Projektion/Ansicht im Kontext mit der Geometrie....124
4.2 Allgemeine semiotische Strukturierung....128
4.2.1 Anpassung der Betrachtungsvariablen – die Umgebungsprojektion....129
4.2.2 Gestaltungsmechanismen in 3D – die Steuerung der grafischen Elemente....141
4.2.3 Einfluss der Psychologie....159
4.3 Zusammenfassung zur semiotischen Modellierung....167
5 Zusammenfassung und Perspektiven....169
5.1 Resümee....169
5.2 Resultate und wichtige Ergebnisse....171
5.3 Ausblick auf weitergehende Forschungsfragen....171
6 Literatur....173
7 Anhang....183
Anhang A – Nutzertest nach Maaß 2007-B....183
Anhang B - Abbildungsverzeichnis....191

1 Einleitung

Basierend auf der „digitalen Revolution“ und einer fortschreitenden Paradigmenänderung in der modernen Kartografie untersucht diese Arbeit notwendige Adaptierungen visualisierungsmethodischer Parameter im Kontext mit perzeptionsgerechter Informationsaufbereitung und medienkonformen Abhängigkeiten. Die Argumentation für die 3D Visualisierungsmethodik stützt sich dabei auf aktuelle Erkenntnisse der Kommunikationsforschung [Bonfadelli 2004, Merten 1977, Müller 2003], Lerntheorien, Wissensakquisition und bei den menschlichen Verarbeitungsprozessen. Es werden für die semiotischen Modellierungsentwürfe die Grundlagen perzeptionsgerechter Bildschirmkartografie [Malic 1998, Neudeck 2001] und medienspezifische Eigenschaften herangezogen.

Dieses einführende Kapitel beschreibt die Motivationen dieser Arbeit, legt die zentrale Hypothese und Fragestellung dar, führt in die angewandte Methodik ein und zeigt die erwarteten Ergebnisse auf. Im Anschluss wird die Struktur der Arbeit erläutert, um die Vorgehensweise und Argumentation der Arbeit darzulegen.

1.1 Motivationen für diese Arbeit

Die digitale Kartografie mit Anwendung unterschiedlichster Schnittstellen kann heute die kartografische Informationsübertragung erheblich erweitern. Diese „Digitalisierung“ der Kartografie umfasst nun nicht nur Prozessabläufe der Reproduktionstechnik, sondern besonders die Verwendung digital-basierter Übertragungsmethoden für einen erfolgreichen Kommunikationsprozess. Diese benutzen in präzise angepasster Form dynamische und animierte Kartengrafiken, sowie multimodale Kartenelemente. Besonders die Verwendung von dreidimensionalen Kartenelementen bzw. Kartendarstellungen bietet bei der räumlichen Wissensvermittlung die Möglichkeit auf eine besonders breite Wissensbasis bei den Benutzern, weil diese eng mit der menschlichen Entwicklung gekoppelt ist [Piaget 2003], zurückzugreifen. Damit können die mentalen Weltmodelle/das Weltwissen der Benutzer direkt aktiviert, benutzt und ergänzt werden [Jonassen 1993, Mayer 2000].

Die traditionellen Herstellungsmethoden der Kartografie sind eng mit den benutzten Übertragungsmedien verbunden. Dies bedeutet, dass sowohl die kartografische Semiotik als auch die darstellbare Informationstiefe dem medialen Auflösungsverhalten folgen muss, um eine generelle unmissverständliche Wahrnehmung zu ermöglichen [Brunner 2001]. Für zweidimensionale Bildschirmkarten wurden einige dieser Beziehungen zwischen dem technischen Medium Bildschirm, der Informationstiefe und Perzeption übernommen [Malic 1998, Neudeck 2001]. Für die multimediale 3D Kartografie werden neben weiteren technischen und geometrischen Abhängigkeiten auch psychologische Parameter Einfluß auf die Wahrnehmbarkeit der räumlich basierten Information nehmen.

Ein generelles Ziel der Kartografie ist sicher die effiziente Vermittlung von raumbasierten Informationen. Wenn diesbezüglich aus kommunikationstheoretischer Sicht der Einsatz digitaler und dreidimensionaler Präsentationsmethoden sinnvoll erscheint, müssen für dreidimensionale Präsentationsmedien, wie zum Beispiel der Virtuellen Realität (VR), semiotische Beschreibungen herangezogen werden, um die unmißverständliche Wahrnehmung der dargestellten Information zu garantieren.

1.2 Hypothese und Fragestellungen

Das Ziel dieser Arbeit ist mögliche Strukturen für ein semiotisches Modell in multimedialen 3D Präsentationen mit kartografischem Inhalt zu erarbeiten. Diese Strukturen folgen einerseits medienspezifischen Eigenschaften und sind andererseits eng mit psychologischen Verarbeitungsprozessen der Raumwahrnehmung verknüpft. Demnach kann die zentrale Hypothese dieser Arbeit folgend formuliert werden: Dreidimensionale Präsentationsformen für den kartografischen Einsatz erfordern Adaptierungen des traditionellen semiotischen Modells, die die formalen Beziehungen erweitern, die Charakteristik des Übertragungsmediums (der Schnittstelle) berücksichtigen und psychologische Wahrnehmungsparameter einbinden (Wenn 3D Präsentationsformen für den kartografischen Einsatz verwendet werden, dann sind formale Erweiterungen des semiotischen Modells notwendig, die Charakteristik des Übertragungsmediums und psychologische (Tiefen-) Wahrnehmungsparameter zu berücksichtigen).

Die Anpassung an das sensorische Wahrnehmungssystem des Betrachters, welcher den „Konsumenten“ der Karte darstellt, ist Kernpunkt für die Effizienz der Karte, wenn mit der Mensch-Computer Schnittstelle den menschlichen Wahrnehmungsfähigkeiten entsprochen wird, die individuelle Wissensbasis erreicht werden kann und allen voran, die perzeptive Wahrnehmung des Informationsinhaltes gesichert ist. Im traditionellen Sinn wurden aus diesem Grund formal-geometrische Anleitungen für die Kartensemiotik angegeben. Die grafische Semiologie von Jaques Bertin (1974), spezifiziert für das Papiermedium, ist sicher das bedeutendste Werk in dieser Richtung. In diesem Sinne sind die Empfehlungen zur Verwendung grafischer Variablen für das 3D Kartenelement und besonders für multimediale 3D Karten anzupassen. Hierbei entsteht die Fragestellung nach den grafischen und geometrischen Parametern in 3D Ansichten, die für die kartografische Informationsvermittlung angepasst werden müssen. Beispielsweise wird der Farbumfang/-differenzierung bei Klassenbildungen auf Grund von Graduierung und Schattierung der 3D Elemente, die für eine bessere Tiefenwahrnehmung benötigt werden, geringer als in 2D Karten sein.

Neuere Arbeiten der digitalen Kartografie fokusieren auf das Ausgabemedium Bildschirm. Der enorme Verlust bei der Auflösung und die restriktive Ausdehnung der grafischen Oberfläche sind ausschlaggebend für Anpassungen bzw. Einschränkungen der kartografischen Semiotik [Malic 1998, Neudeck 2001, Spiess 1996]. Diese Restriktionen gelten auch für Pseudo3D Präsentationen (am Bildschirm) und deren Informationsinhalt. Welche Informationen/Elemente sind in der 3D Präsentation von diesen Auflösungseinschränkungen betroffen? Grundsätzlich werden geometrische Parameter, z.B. zur Darstellung von Grund- und Aufriss, betroffen sein. Diese medienbasierten Abhängigkeiten, die bislang für das Medium/die Schnittstelle Bildschirm durchgeführt wurden, werden auch bei anderen, Parallax3D oder Echt3D Medien eine Rolle spielen. Beispielsweise liefern aktuelle Lentikularlinsen Karten (ein analoges Parallax3D Medium) massive sichtbare Diskontinuitäten quer zu den Linsenzylindern, die hauptsächlich wegen unberücksichtigter Mediumspezifikation auffällig werden. Die entstehende Frage betrifft den gemeinsamen Parameter für die verschiedenen Übertragungsmedien, der als Grundlage für eine medienkonforme Informationstiefe herangezogen werden soll.

Die 3D Präsentation und eine multimediale 3D Karte im Speziellen wird wegen psychologischer Wahrnehmungsparameter weitere Einflüsse auf die kartografische Semiotik bewirken, die sowohl die geometrischen als auch medienbasierten Abhängigkeiten abschwächen werden [Kroeber-Riehl 1993, MacEachren 1994, Bülthoff 2001]. Auf Grund psychologischer Prozesse (kognitiver Verarbeitung) werden Ergänzungen, Größenzuordnungen oder Vergleiche durchgeführt, die eine Überschreitung der perzeptiven Schwelle akzeptierbar machen. Beispielsweise wird einem grünen, perspektivisch verzerrtem Objekt die geometrische Form Kreis zugeordnet, wenn mehrere grüne, nicht verzerrte, kreisförmige Objekte identifiziert werden. Aus der Wirkung der psychologischen Parameter entsteht die Festlegung einer Intuitivitätsgröße. Diese beschreibt die Unterstützung der psychologischen Parameter durch das Übertragungsmedium und kann somit als Anhaltewert für die Überschreitung der perzeptiven Schwelle formuliert werden kann.

Die drei Teilaspekte, die grafisch-geometrische Semiologie in 3D, die medienkonforme Informationstiefe und die Intuitivitätsgröße, dürfen nicht nur getrennt voneinander betrachtet werden. Die gegenseitige Abhängigkeit scheint offensichtlich. Zum Beispiel beeinflussen grafisch-geometrische Restriktionen, wie die Verwendung von orthografischen Kartenelementen in perspektiven 3D Präsentationen, die psychologische Tiefenwahrnehmung. Oder die medienkonforme Informationstiefe bewirkt eine Elementvergrößerung, die sowohl die grafisch-geometrische Semiologie als auch die psychologischen Wahrnehmungsparameter beeinflusst. Wenn alle drei Aspekte verifiziert werden können, dann wird damit auch die offensichtliche Verknüpfung dieser dargelegt.

1.3 Vorgehensweise (Konzept – Untersuchung – Verifikation)

Die Rolle von 3D in der modernen Kartografie ist noch nicht klar definiert, obwohl aus historischer Sicht, auch auf analogen Medien, kartenverwandte Darstellungen für anschaulichere Präsentationen immer wieder gerne benutzt wurden und werden. Stellt man die kommunikationswissenschaftlichen Theorien in den Fokus der modernen Kartografie, dann könnte für einen Einsatz von 3D Komponenten/Präsentationen argumentiert werden, denn das Verständnis und der schnelle Kommunikationserfolg des Benutzers würden ein zentrales Ziel der Kartografie beschreiben.

Der kartografische Kommunikationsprozess kann als verständliche Grundlage notwendiger Prozesse bei der Vermittlung von raumbasierter Information herangezogen werden. Neben der Kompetenzverteilung, der Anordnung der facheigenen Forschungsschwerpunkte und den Modellierungsnotwendigkeiten, können aktive Rollenbeschreibungen (aus der Sicht des Kartenbenutzers, des Kartenproduzenten, …) durchgeführt werden. Diese helfen einen uni- oder bidirektionalen Kommunikationsverlauf festzustellen und demnach den Einfluss der kartografischen Semiotik darzulegen. Mit Hilfe der aktuellen Kommunikationsmodelle [Kolácny 1969, Brodersen 2007, MacEachren 1995, Kraak 1996] wird ihre Gültigkeit und Vollständigkeit in Bezug auf die Einbindung von 3D in den kartografischen Kommunikationsprozess überprüft und notwendigerweise angepasst oder ergänzt.

Aufbauend auf dem Kommunikationsmodell wird der Stellenwert von 3D Elementen für die raum-basierte Kommunikationsaufgabe untersucht. Auf Grund der aktuellen Kommunikationsforschung, den Lerntheorien, der menschlichen Wissensakquisition (Gedächtnisbildung) und den menschlichen Verarbeitungsprozessen werden die Vor- und Nachteile von 3D in der Kartografie erläutert. Beispielsweise bildet das sensorische Gedächtnis eine grundlegende Basis für die fortlaufende Wahrnehmung. Ein visueller Reiz benötigt ca. 0,5 Sekunden, um vom sensorischen Gedächtnis aufgenommen und weitergeleitet zu

werden. Dieser Betrag ist eine Grundgröße, wenn der Kommunikationserfolg, also die ungestörte Informationsübertragung, bei (dynamischen) Informationssequenzen sichergestellt werden soll.

Die medientechnischen Grundlagen bezeichnen die vorherrschenden Charakteristiken der Übertragungsmedien, die für die 3D Präsentation und ihre Semiotik berücksichtigt werden sollen. Erst eine „normierte“ Formulierung oder ein gemeinsame Größe für diese Charakteristiken ermöglicht in der näheren/weiteren Betrachtung eine allgemein gültige Formulierung von 3D semiotischen Abhängigkeiten. Arbeiten aus der digitalen Kartografie/der Bildschirmkartografie [Malic 1998, Neudeck 2001, Spiess 1996] und konkrete medientechnische Eigenschaften der Übertragungsmedien werden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit und Ergänzungsnotwendigkeit für die 3D Kartografie angeführt. Die resultierende Bezugsgröße bildet einen Anhalt für die weitere semiotische Strukturierung.

Die Vorgehensweise bei der semiotischen Strukturierung diskutiert in einem ersten Schritt die Ausnützung der Präsentationsfläche und somit die verfügbaren Informationspunkte (Pixel). Liefern die aktuellen 3D Ansichten bereits ein ultimatives Ergebnis für den Informationstransfer – oder kann der Informationsgehalt und dessen Übertragung mit angepassten geometrischen „Verformungen“ verbessert werden? Bezugnehmend auf multiperspektive Verfahren [Berann 1986, Arnberger 1993] werden Extremfälle in der 3D Ansicht mit ihren Eigenschaften analysiert und Erweiterungen erarbeitet. Die Argumentation, die Nachteile von perspektiven 3D Ansichten einzuschränken, liefert die Motivation dieses Aspektes.

In einem weiteren Schritt wird auf die verfügbaren graphischen Variablen fokussiert. Die besonderen Eigenschaften der 3D Präsentation haben auf diese Variablen hinsichtlich Dynamikumfang, Informationstiefe und Einsatzmöglichkeit bestimmte Auswirkungen, die anhand von vergleichenden Darstellungen (mit und ohne Berücksichtigung der 3D Eigenschaften) verifiziert werden.

Ein letzter Schritt fokussiert auf den Einfluss der Tiefenwahrnehmungsparameter auf die perzeptiven Modellansätze, die mit den grafischen Variablen erarbeitet wurden. Die Tiefenwahrnehmungsparameter sind verantwortlich für eine intuitive Raumerfassung. Diese erlernten Verarbeitungsprozesse der Raumwahrnehmung [Twaroch 2007] sind soweit im prozeduralen Gedächtnis verankert, dass „automatische“ Ergänzungen/Schlüsse von wahrgenommenen Elementen zu einem Raumbild durchgeführt werden. Demnach kann bei einem gut überlegten Einsatz der grafischen Variablen über alle Maßstabsebenen der 3D Ansicht hinweg die Intuitivitätsgröße so verstärkt werden, dass die perzeptive Schwelle der dargestellten Elemente zu einem gewissen Maß (in bestimmten Bereich der Präsentationsfläche) unterschritten werden kann. Durchgeführte Tests hinsichtlich der Tiefenwahrnehmung und Konfliktlösung bei der Raumwahrnehmung in Pseudo3D Darstellungen (Konflikte bei der Anbringung von Beschriftungen) bestätigen die Empfindlichkeit der kognitiven Verarbeitung. Die Intuitivitätsgröße senkt die perzeptive Schwelle und lockert damit die streng geometrisch, auflösungsbasierten Beschreibungen der grafischen Variablen.

1.4 Relevanz, erwartete Ergebnisse und wissenschaftlicher Beitrag

Die Relevanz der semiotischen Überlegungen betrifft sämtliche kartografische Anwendungsbereiche, in welchen 3D Präsentationsformen eingesetzt werden. So wird beispielsweise in vielen Fahrzeugnavigationssystemen die 2D Karte auf dem kleinen Bildschirm gekippt, um einen 3D Effekt zu erzielen. Die semiotische Struktur und die ausgeführten Überlegungen dieser Arbeit ermöglichen für dieses Beispiel Optimierungen, die die Präsentationsfläche besser ausnutzen, Informationsinhalte anpassen und psycholo-

gische Parameter berücksichtigen. Allgemein formuliert, wird die Relevanz auf folgende Weise begründet:

Wenn die Gestaltung des wahrgenommenen Elementes nur von der technischen Ausformung des Mensch-Computer Interface abhängig ist, dann können für diese Ausformungen/technische Grundgrößen generelle semiotische Vorschriften geräteabhängig formuliert und bei zukünftigen Entwicklungen (small displays, e-paper,...) angepasst werden. Ebenso ist dieser technische Aspekt eine wichtige Grundlage für kartografische Qualitätsuntersuchungen mit beispielsweise Bayesischen Netzwerken [Jobst 2006].

Wenn neben den technischen Abhängigkeiten individuelle (Personen-abhängige), psychologische Einflüsse eine Rolle spielen, dann ist für den Entwurf eines semiotischen Leitbildes eine geeignete Struktur, unter Berücksichtigung dieser psychologischen Einflüsse, für die Formulierung der visuellen Abhängigkeiten zu identifizieren und auf Anwendbarkeit zu überprüfen.

Wenn ein gültiges semiotisches Modell, das sowohl von technischen als auch psychologischen Parametern abhängig ist, identifiziert und für multimediale 3D Präsentationen gültig aufgestellt werden kann, dann sind die anteiligen Einflüsse und notwendigen Adaptierungen dieser Parameter festzustellen, um eine künftige Adaptierung der semiotischen Struktur an technische Neuerungen für die multimediale 3D Kartografie zu ermöglichen. Nach dem Verständnis des Autors kann in diesem Zusammenhang eine allgemeine Gültigkeit bei der Kommunikation nur dann formuliert werden, wenn die individuellen Größen vernachlässigbar klein sind, d.h. wenn die Wissensbasis des Individuums basierend auf der (Persönlichkeits-)Entwicklung (Entwicklungskreislauf nach Neissner) [Neisser 1996] sich nicht signifikant von einer „allgemeinen“ Wissensbasis unterscheidet. Eine „allgemeine“ Wissensbasis kann dann durch die physischen/psychologischen Gleichsamkeiten [Piaget 2003] und einer klassifizierten Erfahrungsmenge erstellt werden.

Wenn es gelingt die Rahmenbedingungen für ein semiotisches Leitbild in multimedialen 3D Karten für unterschiedlichste Kommunikationsschnittstellen zu schaffen, dann können die neuen Technologien und ihre Kommunikations-unterstützenden Eigenschaften den kartografischen Kommunikationsprozess zum Benutzer verbessern und den Umgang mit geobasierten Diensten erleichtern. Beispielsweise kann der Abstraktionsgrad bei kleinen Displays bereichsweise reduziert werden um das mentale Raummodell beim Benutzer zu unterstützen.

Als Resultat dieser Arbeit wird ein massiver Beitrag für den Einsatz von 3D Präsentationsformen in der Kartografie erwartet. Diese Erwartung basiert auf den theoretischen Grundlagen der humanen Kommunikation, die die Bedeutung von 3D für den Kommunikationsprozess aufzeigen, den geomedientechnischen Rahmenbedingungen, die die Grenzen der Technologien und ihre Zusammenhänge mit der menschlichen Psychologie beschreiben, und einer allgemeinen semiotischen Strukturierung, die durch neue 3D Gestaltungsmechanismen notwendig erscheint. Die Erwartung des massiven Beitrages für den Einsatz von 3D Präsentationsformen in der Kartografie kann aus der Sicht des Autors schon als erfüllt gelten, wenn die Notwendigkeit zur semiotischen Strukturierung aufgezeigt und begründet werden kann.

Für den kartografischen Kommunikationsprozess, generell der Vermittlung raumbasierter Information, spielt die visuelle Übertragung eine hervorragende Rolle und steht im Zentrum der semiotischen Grundlagen. Dabei werden mögliche Kodierungsparameter identifiziert, ihre grafische Leistung für ein gegebenes Übertragungsmedium bestimmt, die Mindestdimensionen der Kartenelemente für eine eindeutige Identifizierung festgelegt und die semantische Wandlung zu einer Symbolform nach normierten Gestaltungsprozessen evaluiert.

Ergänzend zu dieser Effizienzbeschreibung einer Karte muss auch die Ausdruckskraft der kartografischen Präsentation mit ihrer Mediumabhängigkeit berücksichtigt werden, um die Lesbarkeit des Inhaltes, somit die generelle Wahrnehmbarkeit der Information, sicher zu stellen. Die Ausdruckskraft der kartografischen Präsentation wird einerseits von der Auflösung des Übertragungsmediums eingeschränkt, andererseits vom Auflösungsvermögen des Auges. Während das Auflösungsvermögen des Auges eine individuell konstante Größe für technische Betrachtungen darstellt, unterliegt die Auflösung des Übertragungsmediums weiteren technischen Entwicklungen. Eine Angabe von minimalen Richtwerten für die perzeptive Erfassbarkeit wird bei technologischen Verbesserungen der Medien den neuen Voraussetzungen unterliegen und möglicherweise zu korrigieren sein. Die immense Bedeutung des theoretischen Rahmens für semiotische Vorschriften und Erkenntnisse wird dadurch leicht erkennbar. Die technisch-basierte Auflösung eines Mediums (bzw. das Auflösungsvermögen des Auges) kann somit als bestimmender Faktor für die anwendbare Informationstiefe bezeichnet werden.

Der semiotische Schwerpunkt auf Perzeption und somit die Loslösung von der Kognition setzt eine mögliche Trennung von Wahrnehmungsaspekten und kognitiver Verarbeitung voraus. Dass diese Trennung nur im theoretischen Rahmen formulierbar und bei praktischen Versuchen von den individuellen psychologischen Einflüssen kaum trennbar ist, wird diese Arbeit mit den angegebenen Referenzen und Beispielen des Öfteren aufzeigen können. Dennoch soll das grundsätzliche Ziel dieser Arbeit, einen theoretischen Rahmen für die Semiotik bei multimedialen 3D Karten zu schaffen, verfolgt werden. Die Divergenz von technisch-basierter Semiotik und kognitiver Prozesse liegt den Argumenten zugrunde bzw. wird der technisch modellierbare psychologische Einfluss in das theoretische Konstrukt übernommen.

1.5 Aufbau dieser Arbeit

Diese Arbeit gliedert sich nach der Einleitung in die drei bedeutenden Schwerpunkte, die bei Verwendung von 3D in der kartografischen Kommunikation unbedingt berücksichtigt werden sollen: die theoretischen Grundlagen in Kapitel 2, geo-medientechnischen Rahmenbedingungen in Kapitel 3 und die Strukturierung eines semiotischen Modells in Kapitel 4.

In Kapitel 2 wird mit den theoretischen Grundlagen auf die allgemeinen Kommunikationsmodelle eingegangen, Modelle des kartografischen Kommunikationsprozesses analysiert, die Lerntheorien bei der räumlichen Wissensvermittlung, Wahrnehmungsgewohnheiten und physiologischen Eigenschaften der visuellen Sensorik berücksichtigt. Die unterschiedlichen Modelle und Begriffsabgrenzungen des Kapitels 2 unterstützen die positive Argumentation für den Einsatz von 3D in der Kartografie.

Die Argumentationskette für die Entwicklung semiotischer Vorschriften in der 3D Kartografie bedient sich vorhandener theoretischer Grundlagen, der Medientechnik für die Vermittlung raumbasierter Inhalte und der komplexen Struktur von digitalen 3D Präsentationen. Die theoretischen Grundlagen betreffen den allgemeinen Ablauf kartografischer Kommunikation mit seinen Transformationen und Modellen, die Mensch-Computer Interaktion und visuelle Wahrnehmungskonzepte mit physiologischen und psychologischen Einflüssen. Ebenso beeinflussen Erkenntnisse der pictoralen Wirksamkeitsforschung, sowie der Übergang von Perzeption zu Kognition die semiotischen Formulierungen für den kartografischen Einsatz. Individuell verständliche Kodierungen sind grundsätzliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Kommunikation. Die verwendete Kodierung ist dann Bestandteil der Wissensbasis beim Informationsempfänger. Bei entsprechend großer Überschneidung der Wissensbasis von Empfänger und „Sender“ kann davon ausgegangen werden, dass auch die Semantik der Kodierung richtig interpretiert wird.

Die menschlichen Wahrnehmungsgewohnheiten beziehen sich auf die Nah- und Fernsensorik, sowie kognitiven Prozessen des Menschen, die für die Erfassung des Raumes und korrelierter Informationen eingesetzt werden. Die Nahsensorik, oder auch Kontakt-basierte Sensorik, bezeichnet hierbei den Tastsinn oder Geschmackssinn. Die Fernsensorik bedient sich kontaktloser Informationsaufnahme, wie mit dem visuellen System (Augen) oder Geruchssinn.

In Kapitel 3 werden mit den geo-medientechnischen Rahmenbedingungen die semiotischen Grenzen für 2D Darstellungen auf Bildschirmen beschrieben, eine semiotische Richtgröße formuliert und die digitalen Übertragungsmedien nach deren Charakteristik im Einsatz für 3D klassifiziert. Das Kapitel 3 veranschaulicht so den Zusammenhang zwischen dem Informationsmittel und Informationsträger. Diese begriffliche Trennung des Informationsinhaltes ermöglicht die semiotische Strukturierung in der 3D Präsentation.

Die perzeptive Wahrnehmung als Resultat der mediumangepassten Wahrnehmungsoptimierung bildet noch vor einer kognitiven Verarbeitung die grundlegene Voraussetzung für die Informationsaufnahme. Erst die „Lesbarkeit“ bei visuellen Elementen erlaubt die Identifikation der grafischen Parameter, eine mögliche Zuordnung von Information und ihre kognitive Verarbeitung.

Die Medientechnik im Dienst der Kartografie liefert einerseits mit der Definition des Auflösungsvermögens einen maximalen Informationsgehalt, andererseits unterstützen neue Computerschnittstellen psychologische Verarbeitungsprozesse. Die Kommunikationstechnik als Treffpunkt aufbereiteter Information und perzeptiver als auch kognitiver Verarbeitung zeigt mit ihren verschiedensten Ausformungen Grenzen für kartografische Anwendungen auf.

In Kapitel 4 wird unter Berücksichtigung der Eigenschaften von 3D Präsentationen und den spezifischen Gestaltungsmechanismen in 3D ein semiotisches Modell für 3D strukturiert. Mit der spezifischen Anpassung der Betrachtungsvariablen, den Gestaltungsmechanismen in 3D und dem Einfluss der Psychologie wird die Erweiterung der bestehenden semiotischen Struktur, wie diese in der 2D Kartografie im Einsatz ist, begründet.

Die Komplexität von 3D Präsentationen im virtuellen Umfeld begründet sich sowohl auf den technischen Schnittstellen und ihrer multimodalen Unterstützung als auch den spezifischen Charakteristiken bezüglich Präsentationsform, Geometrie und Anwendbarkeit. Beispielsweise steht die Erweiterung der Multimodalität und somit die Verstärkung psychologischer Prozesse allgemein mit Verschlechterung geometrischer Korrektheit in Verbindung, wenn das Gegenspiel von Tiefenwirkung und Einflüssen linearer Perspektivität herangezogen wird.

Die Bildung semiotischer Strukturen und struktureller Zusammenhänge unter Berücksichtigung erarbeiteter Grundlagen fokusiert auf die unterschiedlichen Aspekte der Geometrie, der Typologie der Kartenelemente und der Tiefenwahrnehmung. Geometrische Abbildungsregeln geben eine Strukturierung der Kartenelemente in multimedialen 3D Karten vor. Ebenso bildet die Typologie der Kartenelemente eine Grundlage für die semiotische Struktur. Die Beeinflussung der Tiefenwahrnehmung durch Veränderung der psychologischen Parameter gibt weitere Einflussfaktoren an.

In Kapitel 5 wird die Dissertation zusammengefasst. Es werden sowohl die Resultate und wichtigsten Erkenntnisse, als auch zukünftige Forschungsrichtungen angeführt.

2 Theoretische Grundlagen der kartografischen Kommunikation

Die vorhandenen Theorien über Kommunikationsprozesse, Lernverhalten und Wahrnehmungspsychologie liefern Anknüpfungspunkte für die semiotische Modellierung in der 3D Kartografie. Die theoretischen Erkenntnisse weisen auf notwendige Charakteristiken der grafischen Semiologie, um

– von Menschen erfasst,

– einem kognitiven Prozess zugeführt und

– kommunikativ verstanden zu werden, hin.

Im Allgemeinen soll dadurch eine Aussage über die Sinnhaftigkeit von 3D Techniken im multimedialen kartografischen Kommunikationsprozess gemacht werden können. Die generelle Verbreitung von 3D Anwendungen in planerischen Aufgaben und deren breite Einsatzgebiete in der Öffentlichkeit zeigen die allgemeine „Attraktivität“ und Pragmatik für räumliche Informationsvermittlung [Borovski 2005, Hoehl 2007, Karner 2006, Aubrecht 2007, Bezema 2007] einerseits und bieten neue Methoden für die Formulierung menschlich-psychologischer Wahrnehmungsprozesse [Bonfadelli 2004, Jenkin et al 2001] andererseits.

Im traditionellen Arbeitsbereich der Kartografie ist der Einsatz von 3D umstritten, da eine Vielzahl von Nachteilen, die sowohl die Geometrie als auch die Perzeption betreffen, diese Präsentationsformen begleiten. Aus dieser traditionellen Sicht könnte man die Herstellung räumlicher 3D Präsentationen kritisieren. Dabei wird üblicherweise vom realen Raum ein geometrisches, zweidimensionales Modell abgeleitet, welches durch weitere Modellierung und Rückbildung wiederum in die dritte Dimension überführt wird. Die grundsätzliche Intention der realitätsnahen 3D Präsentation und die Rekonstruktion der realen Umgebung (Focii von Virtual Reality und photorealistischem Rendering – Cohen-Or et al 2003, Möller et al 2002, Döllner 2007) zeigen eindeutig eine absurde Vorgehensweise. Bei diesen Anstrengungen der realistischen Abbildung werden medienabhängige Perzeptionsparameter und kommunikationsspezifische Charakteristiken kaum oder gar nicht berücksichtigt.

Ein erwarteter Vorteil von 3D Elementen für die Kartografie ist eine erhöhte Verständlichkeit räumlicher Kodierung in Anbetracht der erfolgreichen Kommunikation. Ganz allgemein werden 3D Elemente mit weniger individuellem Wissen des Benutzers erlesen als abstrakte 2D Kodierungen, wie diese beispielsweise bei topografischen Karten angewendet werden. Für diese Art der „naiven“ Kartografie scheinen 3D Elemente hilfreich zu sein.

Im Folgenden werden verschiedene Schwerpunkte, wie die allgemeinen Kommunikationstheorien, die Modellbildung der kartografischen Kommunikation, Lerntheorien und Fähigkeiten der menschlichen

Physiologie, betrachtet. Mit den allgemeinen Kommunikationstheorien sollen die Rahmenbedingungen für eine erfolgreiche Kommunikation erarbeitet werden. Gibt es Dimensionen, deren Berücksichtigung eine Information erst verständlich macht? Um welche Art von Kommunikation handelt es sich bei „Kartografie“ und was sind ihre Eigenschaften? Welche Voraussetzungen müssen von einem Benutzer mitgebracht werden, um kartografische Kommunikation bzw. Kommunikation unter Systemen zu ermöglichen? Die Modellbildung der kartografischen Kommunikation fokussiert auf bisherige Modelle des kartografischen Kommunikationsprozesses. Können diese Modelle für 3D Präsentationstechniken verwendet werden oder wird für eine deutlichere Abgrenzung und Kompetenzverteilung der semiotischen Entwicklung ein umfassendes handlungsbasiertes Modell erforderlich? Mit den Lerntheorien und der menschlichen Psychologie bei der räumlichen Wissensvermittlung können die individuellen Lern- und Verarbeitungs-Mechanismen erarbeitet werden, die ein Rezipient/Nutzer als „Reaktionskompetenz“ mit sich bringt. Die menschliche Physiologie des räumlichen Sehens bildet technisch-basierte Grenzen, die der visuelle Sehapparat mit sich bringt und so das Auflösungsverhalten definiert und die Wahrnehmung beeinflusst.

2.1 Kommunikationstheorien

Der Begriff „Kommunikation“ wird heute in unterschiedlichsten Fachbereichen verwendet und erstreckt sich von sozialen Betrachtungen über philosophische, linguistische und systemtheoretische Ansätze bis zu technischen Realisierungen. Dabei wird immer ein Informationsaustausch betrachtet, welcher aktiv oder passiv, verbal oder non-verbal, uni- oder bi-direktional, gerichtet oder ungerichtet usw. erfolgen kann. Die Modellierung der Kommunikation kann oftmals die Formalisierung zum Ziel haben, um entsprechende Vorgänge computerbasiert abbilden zu können [Bülthoff 2001]. Die Modellierungen der Kommunikation werden aber auch zur Beschreibung von biologischen Vorgängen [Schmidbauer 2004], wie beispielsweise das Signalverhalten von Daten über die menschlichen Nervenbahnen, sozialen Studien, wie beispielsweise linguistische und semantische Aspekte der interhumanen Kommunikation [Müller 2003], und Ähnlichem herangezogen. Generell dienen diese Modelle für ein besseres Verständnis der komplexen Vorgänge und bilden mit diesem Verständnis eine wichtige Grundlage beim Einsatz verschiedener Medien, Informationsmittel, Übertragungsmodi und digitaler Technologien, im Besonderen bei der Vermittlung raumbasierter Informationen.

Die Karte in Kontext mit den allgemeinen Kommunikationstheorien berührt sowohl soziologische Wechselwirkungen, biologische Grundlagen als auch technische Betrachtungen. Die sozialen Wechselwirkungen basieren auf den Kommunikationswissenschaften, Sozialwissenschaften, Medienwissenschaften und auch der Psychologie, wenn die Kommunikation zwischen einzelnen Menschen und Gesellschaftsgruppen, die Mensch-Computer Interaktion oder linguistische und semantische Kommunikationsaspekte verstanden werden müssen. Konkret ist das eine verständliche visuelle Kodierung. Als ein Beispiel können Verkehrstafeln und Wegweiser angeführt werden, die für möglichst jeden verständlich kommuniziert werden sollen. Die grafische Gestaltung folgt der Intention, allgemein verständlich und spezifischen Situationen angepasst zu sein. Diese Intention muss einerseits auf die gesellschaftliche Bildung und Kultur, also eine so genannte „Gedächtnissituation“, Rücksicht nehmen und andererseits das Ziel des Handelns gemäß der Handlungsdimension definieren. Die Gedächtnissituation kann für das Verstehen der grafischen Kodierung verantwortlich gemacht werden. Die Handlungsdimension bezeichnet eine pragmatische Ebene des Verkehrsschildes, welches situations- und bedürfnisbedingt die korrekte Hilfe liefern kann, bspw. in welche Richtung darf ich mich bewegen? Beide Aspekte definieren konträre Ansätze der Kommunikationstheorie: den Fokus auf die Rolle des Gedächtnisses, Bewusstseins oder Erinnerung und

einen operativen Charakter der Kommunikation. Was aber haben nun Verkehrsschilder mit Kartografie zu tun? Verkehrsschilder repräsentieren, so wie auch einzelne ikonografische Elemente der Karte, sowohl nicht sichtbare Informationen (Bezeichnungen, Anweisungen, Beschränkungen, Zulassungen, ...) als auch Objekte im realen Raum. Dadurch wird eine Referenz zwischen dem realen Objekt im Raum und dem abstrahierten Element der Karte geschaffen, welche das individuelle mentale Modell erweitern hilft, wenn die biologischen und kommunikationstechnischen Voraussetzungen für die korrekte Wahrnehmung und kognitive Verarbeitung gegeben sind. Das Verkehrsschild ist demnach eine Präsentationsform, die Informationsträger (das Schild) und Informationsmittel (die Grafik) vereint. Die besonderen Eigenschaften dieser Präsentationsform „Verkehrsschild" sind die unbedingte Ortsgebundenheit, relative Unbeweglichkeit und unidirektionale Informationsübertragung. Sie hilft einerseits bei der geregelten Bewegung und geleiteten Orientierung im Raum und andererseits bei der Erweiterung des mentalen Modells (z.B.: Schild Einbahnstraße - diese Straße ist eine Einbahn). Eine Karte nutzt diese linguistischen Aspekte der „Verkehrsschildgrafik", um räumlich bezogene Informationen verständlich zu kodieren.

Die biologischen Grundlagen umfassen biologische und neurobiologische Betrachtungen, die das Signalverhalten von Daten in Organismen (Mensch, Tier, Pflanze, biologisch einfachste Lebensformen) untersuchen. Hierbei wird sowohl die Funktionsweise von Sinnessystemen als auch der Nervenbahnen erforscht. Diese Untersuchungen der Kommunikation zwischen einfachen Lebensformen oder Tieren sind generell Bestandteil der Fachbereiche Biologie und Medizin. Die Erkenntnisse, soweit diese die menschliche Biologie betreffen, führen im Bereich der Kartografie zur Adaptierung des semiotischen Modells, d.h. die grafische Realisierung der Karte soll auf die biologischen Voraussetzungen des Menschen Rücksicht nehmen. Beispielsweise wird die Auflösung von Bildpunkten so hoch gewählt, dass die Darstellung homogener Kartenelemente möglich wird. Einzelne Bildelemente (Pixel) oder Druckpunkte sollen die Informationsaufnahme nicht beeinflussen. Auf diese Weise erkennt man, dass durch das Hervorheben einzelner Elemente, die auch nur von den Mediencharakteristiken abhängen können (Druckpunkte auf dem Papier, Bildpunkte beim Display usw.), auf den gesamten Kommunikationsvorgang über die biologischen Merkmale des Menschen Einfluss ausgeübt werden kann. So werden klar sichtbare Bildpunkte (die Größe liegt über dem Auflösungsvermögen des Auges) einer definierten Linie die eindeutige Wahrnehmung als Objekt mit spezifischer Linienstärke stören. Mit Rücksicht auf die Physiologie des Menschen sind reale oder zumindest angepasste/manipulierte Wahrnehmungssequenzen erzeugbar, beispielsweise ein echter 3D Eindruck mit Hilfe des Anaglyphenverfahrens.
Neue technische Möglichkeiten und die verstärkte Variation von Übertragungsmedien in der Kartografie führen zu einer verstärkten Relation mit den technischen Betrachtungen der Kommunikation. Diese technischen Aspekte betreffen großteils die Bandbreite eines spezifischen Kommunikationskanals, d.h. wie viele Daten über einen bestimmten Kanal, gestört oder ungestört, übertragen werden können. Dieses zentrale Interesse der Informationstheorie klärt Fragen des Informationsüberschusses (information overflow) und der Informationsstruktur. Die Letztgenannte führt in multimedialen Anwendungen leicht zum „Verirren" des Benutzers und zu einer so genannten „Lost in Cyberspace"-Situation. Der Informationsüberschuss verhindert eine Weiterverarbeitung der Information im sensorischen Gedächtnis und Kurzzeitgedächtnis. Das sensorische Gedächtnis arbeitet wie ein Register, ein Reiz nach dem anderen, und verliert daher bei zu vielen einzelne eintreffende Reize. Das folgende Kurzzeitgedächtnis ist auch von der Verarbeitungskapazität eingeschränkt. Ein Reiz wird für ca. 20 Sekunden im Speicher gehalten. Wird der Reiz wiederholt, erhöht sich seine Wichtigkeit und der Übergang in das Langzeitgedächtnis ist wahrscheinlich. Nach 20 Sekunden wird der vorhandene Reiz durch einen neuen aus dem sensorischen Gedächtnis ersetzt. Die Begrenzung des Kurzzeitgedächtnisses geht soweit, dass nur sieben (+/- 2) voneinander verschiedene Reizeinheiten behalten werden können [Hasebrook, 1995, S. 48]. Der Informationsüberschuss beeinflusst zusätzlich die korrekte Wahrnehmung einzelner Reize, wenn sich unterschiedli-

che Modalitäten zu stark überlagern. Beispielsweise wird das Lesen von Text in einem Film erschwert, wenn zusätzlich ein gesprochener Kommentar mit anderem Inhalt im Audiokanal abgespielt wird. Der Inhalt des Textes im Film wird leichter erfassbar, wenn der Audiokanal denselben Inhalt wiedergibt. Man spricht dann von mehrfacher Kodierung (Multicoding – e.g.Brauen 2006). Die Störungen der Kommunikation aus technischer Sicht basieren nicht nur auf Informationsüberfluss. Eine grundlegende Störung tritt auch dann ein, wenn Reize zwar empfangen werden können, aber die Wahrnehmung verfälscht oder beeinträchtigt ist. Auf Grund der verfälschten Wahrnehmung wird der Reiz (das Objekt) im mentalen Modell des Langzeitgedächtnisses falsch zugeordnet. Aus technischer Sicht wird dieser Zustand bei Missachtung der grundlegenden Medieneigenschaften aktuell, wenn beispielsweise eine Kreisdarstellung wegen der geringen Auflösung des Mediums (bspw. Mobiltelefon) einer Raute ähnelt [Abb. 2-1] und somit „falsch“ identifiziert wird.

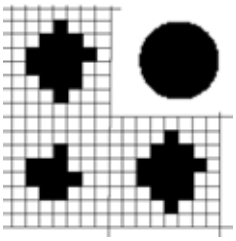


Abb. 2-1: Veränderung des Symbols Kreis mit verändernder Auflösung.

Die Berührungspunkte der Kartografie mit den allgemeinen Kommunikationstheorien können somit in drei Dimensionen klassifiziert werden:

- *Die soziale Dimension* beschreibt das Verständnis der grafischen Kodierung (z. B. in der Karte) bzw. die Kommunikation einzelner Menschen oder gesellschaftlicher Gruppierungen mit Hilfe des Werkzeugs Karte.
- *Die biologische Dimension* definiert die physiologischen und psychologischen Eigenschaften des Menschen, die für die Informationsaufnahme von Bedeutung sind und eine intuitive Vermittlung ermöglichen.
- *Die technische Dimension* fokussiert auf die Leistungsfähigkeit verschiedener Übertragungsmedien, die durchaus auch mehrere Informationsträger umfassen können. Eine effiziente Informationsübertragung wird nur möglich, wenn die Eigenschaften des Mediums berücksichtigt werden. Beziehungsweise können die spezifischen Eigenschaften für eine Manipulation der Informationsaufnahme verwendet werden (Illusionen).

Die folgenden Ausführungen betrachten Begrifflichkeiten, Unterscheidungen und Modelle der allgemeinen Kommunikationstheorien. Die Rolle der menschlichen Intelligenz für die Kommunikation wird die Bedeutung von 3D Elementen betonen. In einem kleinen geschichtlichen Verlauf der Kommunikationsentwicklung wird die Aktualität von 3D Elementen mit den neuen technischen Möglichkeiten ersichtlich. Mit diesen Techniken nehmen interaktive Systeme ihren Platz in den Kommunikationsmodellen ein und erweitern scheinbar die Direktionalität des Kommunikationsablaufs. Zunächst soll der Zusammenhang der visuellen Kommunikation mit der Karte aufgezeigt und plausible Definitionserweiterungen einer Karte diskutiert werden.

2.1.1 Die Karte im Kontext der visuellen Kommunikation

Wenn die Dimensionen der Kommunikation tatsächlich Berührungspunkte zur Kartografie darstellen sollen, dann wird es notwendig, das aktuelle Verständnis von der Karte zu konkretisieren, da der Kommunikationsaspekt den dokumentarischen und analysierenden Charakter der traditionellen Karte in der sozialen, biologischen und technischen Dimension erweitert. Laut Internationaler Kartographischer Vereinigung 1973 [nach nicht publizierten Generalversammlungsberichten] gilt Kartografie als „Wissenschaft, Technik und Kunst der Herstellung von Karten und kartenverwandten Darstellungen, ausgehend von unmittelbaren Beobachtungen und/oder Auswertung von Quellen, mit den Arbeitsvorgängen des Kartenentwerfens, der Kartengestaltung, der Ausführung des Kartenoriginals und der Vervielfältigung sowie der Lehre der Kartenbenutzung.“ Das Lehrbuch Kartographie 2002 von Hake, Grünreich und Meng [Hake et al 2002] fasst bestehende Definitionen zusammen und beschreibt Kartographie als *„Die Kartographie ist ein Fachgebiet, das sich mit dem Sammeln, Verarbeiten, Speichern und Auswerten raumbezogener Information sowie in besonderer Weise mit deren Veranschaulichung durch kartographische Darstellungen befasst“*. Wird eine Karte „nur“ unter dem geografischen Aspekt gesehen, spielen die soziale und technische Dimension (z.B.: Multimodalitäten) der Kommunikation nur eine geringe Rolle, denn der geografische Aspekt fokussiert auf die zweidimensionale grafische Abstraktion und Projektion eines realen Raumbildes. Das Ziel ist dann hauptsächlich die Abbildung, Analyse und Dokumentation des Raumes mit all seinen sichtbaren und unsichtbaren Werten. Die effiziente Vermittlung des Inhaltes, die einen umfassenden Wissenserwerb des Benutzers zur Folge hat, ist für diese Aufgabe nur von geringer Bedeutung. Die Informationsentnahme nach diesem dokumentarischen und analysierenden Verständnis der Karte erfordert eine dementsprechend vorhandene Wissensbasis. Die Karte folgt nicht dem Anspruch, für jeden (also ohne entsprechendes Vorwissen) verständlich zu sein. Allerdings muss dem Anspruch der eindeutigen Informationsentnahme auch bei „Experten“ des Kartenlesens nachgekommen werden. Sowohl die biologische Dimension des Betrachters als auch perzeptive Mindestmaße der Kartenelemente sind demnach zu berücksichtigen. Erst damit wird es möglich, den Karteninhalt eindeutig zu entziffern.

Die Erweiterung des Verständnisses „Karte“ basiert auf den technischen Erweiterungen der visuellen Kommunikation durch multimediale Komponenten, die besonders durch Dynamik und Interaktivität charakterisiert sind [Däßler 2002] und von einer digitalen Verarbeitung abhängen. Diese neuen Paradigmen fokussieren auf den Kommunikationsaspekt, denn mit Hilfe der Interaktivität wird eine benutzerangepasste Exploration etabliert. Die Dynamik ermöglicht mit zeitlichen oder räumlichen Sequenzen weitere Dimensionen der Informationsdarstellung, die bislang auf dem starren Übertragungsmedium Papier nicht möglich waren. Man kann also behaupten, dass sich der dokumentarische Charakter der Karte mit multimedialen Technologien mehr zum Kommunikationsaspekt verlagert. Der Abbildungsvorgang der visuellen Information im mentalen Modell des Benutzers gewinnt an Bedeutung. Zusätzlich wird der traditionelle geografische Anwendungsbereich der Karte mit virtuellen Daten- und Informationsräumen ergänzt. Karten werden nicht nur zur Abbildung geografischer Räume verwendet, sondern bieten ein wirkungsvolles Werkzeug zur übersichtlichen Darstellung virtueller Relationen, d. h. es werden neben geografischen Objekten auch virtuelle Informationsobjekte verbunden und in einem kleinmaßstäbigen/überblickbaren Kontext veranschaulicht. Die unabdingbare Bindung zur physischen Welt fällt weg. Vielmehr werden nun „Karten“ verwendet, um sich in virtuellen Welten des Cyberspace zu orientieren und im Internet zu navigieren. Damit entwickelt sich die Karte heute zu einem mächtigen Werkzeug der visuellen Kommunikation. Sie repräsentiert limitierte Abbildungen des realen Raumes, der sowohl den geografischen als auch den virtuellen Raum umfasst. Diese Repräsentanzen des Raumes werden auf die Eigenschaften der Übertragungsmedien transformiert und an deren Koordinatensysteme angepasst. Die

Transformation gemäß den Medieneigenschaften stellt die eindeutige Informationsentnahme sicher. Dynamische und interaktive Mechanismen unterstützen benutzerspezifische Lernleistungen und adaptive Manipulationen [Blumstengel 1998]. Sie vereinfachen dadurch den kognitiven Aufwand, eine Information dem individuellen Langzeitgedächtnis/Wissen hinzuzufügen. MacEachren (1995) beschreibt in diesem Sinn eine Karte als Hilfsmittel der wissenschaftlichen Visualisierung: *„..maps are integral parts of how we understand and explain the world...a method to visualize a world, that is too large and too complex to see directly..“*. Aus Sicht der Informationsvisualisierung wird sie als Transformation einer dreidimensionalen Welt in die zweidimensionale Abbildungsebene eines Übertragungsmediums unter Verwendung angepasster Codes und Geometrien definiert: *„..maps are a special form of visual communication, a representation of the three-dimensional world in a coded two-dimensional form...the map is a form of code, a geometry to feed the visual imagination..“* [Kahn und Lenk 2001]. Diese Definition der Informationsvisualisierung von Kahn und Lenk (2001) konzentriert sich auf weit verbreitete Übertragungsmedien/Displays, die üblicherweise eine zweidimensionale Abbildungsfläche verwenden. Für echte dreidimensionale Medien, wie Hologramme, „Rotating Helix Mirror“ und Ähnlichem, ist diese Definition zu erweitern, um die visuelle Kommunikation der Karte nicht auf 2D Präsentationen zu beschränken. So wären Karten als spezielle Form der visuellen Kommunikation zu bezeichnen, die einen endlichen Bereich der realen Welt mit geeigneten Transformationen der Kodierung, Geometrie und Koordinatensysteme auf verfügbaren Übertragungsmedien einer wirkungsvollen Kommunikation zugänglich machen.
Die Verwendung von 3D Elementen in der grafischen Darstellung ist für gewisse Themen, die auf naive Informationsvermittlung fokussieren, eine wichtige Ergänzung, die im Laufe der kartografischen Entwicklungsgeschichte immer wieder angewendet wurde. Beispiele dafür gehen bis zu den ersten kartografischen Zeugnissen von 3000 v. Chr. zurück. Es wird auch auf zweidimensionalen Medien mit den grafischen Mitteln der Verdeckung, Schattierung, Textur, Perspektive und Gradienten versucht, einen räumlichen Eindruck der Darstellung zu erreichen [Tufte 1990] und somit die intuitive Wahrnehmung bei der Informationsentnahme zu aktivieren [Kirschenbauer 2004]. Die technischen Erweiterungen sowohl bei den Übertragungsmedien als auch bei der Dynamik und Interaktivität bestärken den Einsatz von 3D Präsentationsformen für die Exploration, wenn eine intuitive und leicht verständliche Darstellung erreicht werden soll. Die digitale Datenverarbeitung im gesamten *kartografischen Kommunikationsprozess* (siehe Kap. 2.2) ermöglicht zusätzlich die Verwendung der primären Datenmodellstrukturen mit all ihren Dimensionen (räumliche und zeitliche) für die Darstellung der Information. Das bedeutet beispielsweise, dass ein Verlust der Tiefenwerte im Laufe der kartografischen Transformation nicht mehr stattfinden muss, wenn das Übertragungsmedium (eine Echt 3D Schnittstelle) diese Dimension darstellen kann. Der Verlust der „Tiefenwerte“ ist eine notwendige Maßnahme bei der Transformation auf eine 2D Präsentationsfläche, welche neben anderen Generalisierungsmaßnahmen zu den immanenten Eigenschaften der statischen Karte führt, d.h. die spezifischen Elemente der Karte sind auf Grund von Maßstab und Informationstiefe nur im entsprechenden Entwurf gültig.

Die Kartografie vollzieht in ihrer aktuellen fachlichen Positionierung und dem bisherigen Aufgabenspektrum eine Verlagerung im Sinn der visuellen Kommunikationstheorien, wenn man die angesprochenen Erweiterungen der digitalen Technologien und die Paradigmenänderung zulässt. Obwohl bei den Dokumentationsaufgaben die perzeptiven Eigenschaften der wirkenden Grafik berücksichtigt werden, um die Informationsentnahme und damit den Kommunikationserfolg sicherzustellen, verlangen multimediale Lösungen eine stärkere Berücksichtigung von Bildwirkung, Modalitäten, Gedächtnisstruktur, Lernverhalten, Wissensbildung und Mediencharakterisitk, also eine intensivere Einbettung der sozialen, biologischen und technischen Dimensionen der Kommunikation. Man kann mit diesen Erweiterungen von einer Paradigmenentwicklung von den technischen Wissenschaften zu den Kommunikationswissenschaften

sprechen. Folglich soll der Begriff Kommunikation unterschieden werden und mit seinen Gültigkeitsbereichen auf bedeutende Kommunikationsmodelle überleiten.

2.1.2 Begrifflichkeiten und Gültigkeitsbereiche der Kommunikation

Die Zuordnung des Begriffes Kommunikation zu unterschiedlichen Fachbereichen, sei es Technik, Psychologie, Soziologie oder Neurologie, erschwert eine eindeutige Kategorisierung von Kommunikation und somit eine allgemein gültige Definition. Es war daher notwendig, die Begriffsbestimmungen zu analysieren und mit diesen eine Unterscheidung herbeizuführen. Merten (1977) hat in seiner Untersuchung über 160 Begriffsbestimmungen unterschieden und diese hierarchisch kategorisiert. Obwohl er seine getroffene Strukturierung als „relativ unfruchtbar" (Merten 1977, S. 92) bezeichnet, ermöglicht diese für die „kartografische Kommunikation" eine Zuordnung und Einschränkung des Begriffes auf die wesentlichen Aspekte. Merten unterscheidet die subanimalische Kommunikation, animalische Kommunikation, Humankommunikation, Massenkommunikation und technische Kommunikation.

2.1.2.1 Subanimalische Kommunikation

Die subanimalische Kommunikation dient der Beschreibung technischer und naturwissenschaftlicher Phänomene. Es handelt sich dabei um eine „vegetative Kommunikation" im Bereich von Mikroorganismen und chemischen Strukturen. Es besteht keine Möglichkeit der Interaktion auf Distanz, d.h. ein direkter Kontakt ist erforderlich. Es wird keine Unterscheidung zwischen Organismus und Nicht-Organismus gemacht. Somit kann in dieser Kategorie sowohl die reziproke Anziehung zweier Magnete als auch die Verbindung aus zwei verschiedenen Molekülen verstanden werden. Die chemischen Vorgänge zwischen Ei- und Spermazelle fallen ebenso in diese Kategorie und werden als Kommunikation verstanden.

„..Bei allem, was zwischen zwei Substanzen übertragen wird, ist nicht der Träger relevant, sondern die darin verschlüsselbare Struktur, also eine relationale Eigenschaft, eine Art Strukturtransfer. ..der Zuwachs an Struktur ist abhängig von dem jeweils schon erreichten Strukturbestand in der Zeit. .." (Merten 1977, S. 95).

Als „Struktur" wird eine Ansammlung von miteinander kommunizierenden Elementen bezeichnet, die sich selbst produzieren, modifizieren, verbreiten und miteinander in Kontakt bleiben. Auf der Skalierung von Zellen sind die Kommunikanten die Zellen selbst, die die wechselseitige Stimulation nicht durch Wahrnehmung, sondern durch chemische/metabolische Prozesse durchführen. Diese einfache Verarbeitung der Prozesse erfolgt durch binäre Kodierung.

2.1.2.2 Animalische Kommunikation

Die animalische Kommunikation bezeichnet die Kommunikation zwischen Lebewesen ohne Differenzierung nach Mensch oder Tier. Sie begründet sich auf der Fähigkeit zur Lokomotion (Fortbewegung bzw. aktive Bewegung biologischer Individuen aller Art), der Differenzierung der Sinnesorgane und damit der freien Wahl des Kommunikationsabstands. Es ist daher die Trennung der Kommunikanten gegeben, die ihren Abstand mittels Kommunikation überwinden. In dieser Kategorie wird die Fähigkeit der Fortbewegung, die die Selektion und Verbesserung der Lebensbedingungen erlaubt, angenommen. Dadurch wird die aktive Informationsaufnahme ermöglicht und die Voraussetzungen zur Reflexivität geschaffen. Die Tatsache, dass die Kommunikanten voneinander getrennt sind und sich individuell frei bewegen können, macht eine neue Kommunikationsform mit wahrnehmbaren (!) Zeichen erforderlich.

Die Relation zur Lokomotion mit der Bedingung, dass die Organismen (Kommunikanten) voneinander getrennt sind, geht mit der Entwicklung unterschiedlicher Wahrnehmungskanäle einher, wobei der taktile Kanal phylogenetisch der älteste ist. Aus ihm haben sich die anderen Wahrnehmungskanäle entwi-

ckelt. Der taktile Wahrnehmungskanal hat eine geringe Informationsleistung, da dieser den körperlichen Kontakt voraussetzt. Ohne unmittelbare Anwesenheit des Anderen ist die taktile Wahrnehmung nicht möglich.

Der olfaktorische Wahrnehmungskanal verfügt zwar auch über eine geringe Informationsleistung, setzt aber keine wechselseitige Anwesenheit des Kommunikationspartners voraus [vgl Merten 1999, S. 191].

Der akustische Wahrnehmungskanal bietet eine hohe Informationsleistung, die über eine große Distanz und für viele Rezipienten nutzbar eingesetzt werden kann. Die Emissions- und Rezeptionsorgane sind voneinander getrennt, sodass sowohl die Emission spezifischer Signale als auch der Empfang von Signalen höchst selektiv erfolgen kann.

Der optische Wahrnehmungskanal verfügt nach Merten (1999) über die größte Informationsleistung mit dem größten Auflösungsvermögen. Die Wahrnehmung erfolgt über große Distanz und ist für viele Rezipienten möglich. Zusätzlich verfügt der optische Kanal über den Vorteil einer kontrollierenden Eigenschaft: man kann sehen, ob Rezipienten zusehen, zuhören oder jemanden berühren. Im Gegensatz kann man aber nicht hören, ob jemand zusieht. Weiters erfasst der optische Kanal die gesamte Mimik, Gestik und Verhalten des Rezipienten und kann aufgrund dieser Beobachtung präventiv reagieren. Es ist dadurch eine „Distanz-Kommunikation“ möglich, die den Vorteil bietet, eine Situation im Vorfeld auf Gefahren zu analysieren [Mead´sches Grundschema – De Waal 2002].

2.1.2.3 Humankommunikation

Die Humankommunikation setzt die Existenz von Sprache über und neben den nonverbalen Kanälen voraus. *„ ..Sprache ist nicht Voraussetzung von Kommunikation, sondern schon Folge von Kommunikation.. „* [Merten 1977, S. 118]. Die Verfügbarkeit von Sprache erweitert die Kommunikationsleistung und resultiert in weiteren Strukturen. Das reale Geschehen wird mit Sprache abstrahiert und in dieser zweiten abstrakten Ebene behandelt. Die Abstraktion ermöglicht es, in Vergangenheit und Zukunft zu denken und sich damit in unterschiedlichen Dimensionen, vor allem der Zeit, sprachlich zu bewegen. Nur dadurch wird es möglich, planerisches Denken zu entwickeln, d.h. neben der Wirklichkeit eine virtuelle Abstraktion aufzubauen [Merten 1999, S. 193]. Die Sprache stellt für die Kommunikation ein zentrales Instrument dar, welches die Entfaltung von Kommunikation unterstützt und nach Ausbildung von Regeln/ Normen soziales Handeln oder den Umgang mit Sprache selbst fördert.

Die Vorteile des Kommunikationswerkzeuges Sprache lassen sich folgend zusammenfassen in

- die genauere Intentionalität, damit folgt die Kommunikationspräzisierung,
- die Sinnstrukturierung, die Sprache als Hauptkommunikationskomponente verwendet und intersubjektive Strukturen aufbaut,
- die präzisere und erwartbare Steuerung des gegenseitigen Verhaltens mit Speicherung eines Erfahrungswertes,
- die Reflexivität der Erfahrungswerte und des Wissens als Antrieb für das Gedächtnis und
- die Selbstreferenzierung der Sprache in ihrem eigenen Prozess, die damit ihre Entwicklung unterstützt.

Die Reflexivität der Kommunikation mittels des Werkzeuges Sprache wird in drei Dimensionen belegt. Sie ist die zentrale Eigenschaft für die Beziehung von Erwartungsstruktur und Zeichenvorrat und bildet sich in der Sozial-, Sach- und Zeitdimension ab. Die Reflexivität in der Sozialdimension beschreibt beispielsweise ein Prognoseverhalten, welches mit der Betonung (eines Satzes) ein reflexives Erwartungs-

muster beim Partner entwickelt. Die Erwartungshaltung von Betonungen und Lauten wird in episodalen Erfahrungen erlernt. Zum Beispiel resultiert die Formulierung eines Fragesatzes in der Antworterwartung beim Rezipienten. In der Sachdimension lassen sich mit der Möglichkeit der Wissensspeicherung Aussagen über Aussagen formulieren. Wegen der zeitlichen Dimension kann auf Anwesenheit verzichtet werden. Daraus ergibt sich eine erhöhte Komplexität der Gesellschaft.

2.1.2.4 Massenkommunikation

Die Massenkommunikation ist eine Art der Humankommunikation, die sich technischer Hilfsmittel bedient, in der Regel einseitig ist und sich an disperse Rezipienten richtet. Die Massenkommunikation ist für Merten ein Resultat der „Evolution der Kommunikation“ und damit eigentlich der Medienentwicklung [Merten 1999, S. 20]. Zu den evolutionär frühen Kommunikationsformen gehört die Face-to-Face Kommunikation, die nur eine Stufe in der Evolution der Kommunikation darstellt. Merten versteht unter der Entwicklung der Kommunikation die technische Ausformung und -differenzierung bezüglich Verbreitungsgeschwindigkeit, Verbreitungsgrad oder Menge der Rezipienten.

Laut Merten wird die informelle Kommunikation (der spontane und ungeplante Austausch) als einfachste Kommunikationsform bezeichnet. Über die Qualität der Kommunikation mit evolutionär höher entwickelten Formen wird grundsätzlich keine Aussage gemacht. Die qualitativen Aspekte beziehen sich in Anlehnung an Luhmanns Kommunikationsmodell auf die Reduktion der Komplexität. Demnach wird versucht, komplexe und massive Informationsmengen effizient zu vermitteln. Dieser Fokus inkludiert die Frage nach dem Informationszugriff und der Kommunikationswirkung. Der Informationszugriff beschreibt den individuell richtigen Zugang zu den benötigten Informationen (Wie kommt der Rezipient an die richtige Information heran?). Die Kommunikationswirkung klärt die Wirkung der Kommunikation beim Empfänger, sodass das „richtige“ Verständnis aufgebaut und die gewünschte Wissensbildung erfolgen kann.

Die Massenkommunikation vergrößert nochmals den Radius der Gesellschaft. Die Lokomotion wird erhöht und die Umwelterfassung erweitert, wodurch sich die Komplexität der Kommunikation weiter steigert. Mit den Medien der Massenkommunikation wird eine unendliche Wissensspeicherung möglich, die die informationsvermittelnden Kanäle entlastet und dadurch eine Metafunktion übernehmen kann. Dieser Aspekt findet sich in der Internet- und Telekartografie wieder, wo die informationsvermittelnden Kanäle und deren Auflösung enorm reduziert sind, aber im Gegenzug auf ein weltweites Archiv von geobasierten Informationen in Echtzeit zugegriffen werden kann.

Die Massenkommunikation stört die Idee vom einfachen Sender und Empfänger Modell. Vielmehr werden nun auch die Sender zu Rezipienten. Es wird also sinnvoller, von Beteiligten zu sprechen [Goertz 1995], nachdem der Rezipient nicht mehr bloß die Information aufnimmt, sondern auch selbst in den Kommunikationsprozess eingreifen kann. Das Medium übernimmt die Rolle des organisierten Kommunikators, der Informationen/Aussagen an Rezipienten verteilt. Es vereint die reflexive Wissens- und Meinungsstruktur, die über das Medium (dem Kommunikator) zu einem virtuellen sozialen System führen. Das entstehende soziale System ist virtuell, da es sich auf die Vorstellungen von anderen begründet. Merten legt daher wert auf die Feststellung, dass Massenkommunikation nicht die Beziehungen zwischen Kommunikator und Rezipient, sondern zwischen Rezipienten herstellt. Ein Kernpunkt der Massenkommunikation ist die Reflexivität des Wissens, die hier besonders in der sozialen Dimension zum Ausdruck kommt. Es entsteht eine reflexive Erwartungsstruktur, denn man weiß, dass der andere auch rezipiert hat.

2.1.2.5 Technische Kommunikation

Die technische Kommunikation bildet die Evolutionsschritte der Kommunikation ab und ist der Massenkommunikation untergeordnet. Die technische Kommunikation basiert auf der computervermittelnden Kommunikation als Kommunikationsform, die aus der Vereinigung von Computerisierung, elektronischen Massenmedien und Telekommunikation entstanden ist. Somit können alle technischen Voraussetzungen, die Massenkommunikation im technischen Sinn ermöglichen, in dieser Kategorie eingeordnet werden (bspw. technische Standards: TCP/IP, Wlan, Bluetooth, RFID, ...). Dennoch bleibt die computervermittelnde Kommunikation an die Rahmenbedingungen des jeweiligen sozioökonomischen und soziokulturellen Systems gebunden, d.h die nationalen Gesetze und ethnischen Richtlinien bleiben trotz der wachsenden Problematik bei der Einhaltung, Überprüfung und Datensicherheit grundsätzlich aufrecht.

2.1.2.6 Verbale und non-verbale Signale

Die Massenkommunikation steht mit ihrer sozioökonomischen und soziokulturellen Wirkung im engen Zusammenhang mit der zwischenmenschlichen Kommunikation. Besonders, weil bei der zwischenmenschlichen Kommunikation die Gestik und Mimik die direkte Reaktion eines Rezipienten stark beeinflussen können, wird die Massenkommunikation auf Grund der größeren Kommunikationsdistanz und ihres indirekten Einflusses oftmals unterschätzt. Man kann hier Watzlawicks Thesen [Watzlawick et al 1969] der nonverbalen Kommunikation adaptieren. Jedes Verhalten als Reaktion auf etwas oder jemanden ist wegen des Mitteilungscharakters eine Kommunikationsweise und zeigt durch die Reaktion selbst schon einen „Kommunikationserfolg". Zum Beispiel ist das Nicht-verwenden einer Karte wegen geringer Informationstiefe (unangepasster Pragmatik) eine direkte Reaktion auf diesen Umstand und damit ein direktes Kommunkationsergebnis. Dieses Ergebnis wird erst existent, wenn es als Reaktion/Verhalten von jemandem wahrgenommen wird. Da Verhalten kein Gegenteil hat, denn man „verhält" sich immer, schließt Watzlawick *„... man kann nicht nicht kommunizieren ..."* [Watzlawick et al 1969]. Die Messmethoden dieser Reaktionen und Verhalten im gesellschaftlichen Umfeld der Massenkommunikation sind noch ungenau und reduzieren sich auf verschiedenste Arten von Fragebögen, Beobachtungen und empirischen Auswertungen [Jobst et al 2007]. Sie sind ein wichtiger Bereich der Bildkommunikation, wo die Wirkungsgrundlagen der grafischen Variablen und ihrer Kompositionsmöglichkeiten für die Schaffung eines intensiven visuellen Reizes erarbeitet werden.

2.1.2.7 Bildkommunikation

Allgemein nimmt die Bildkommunikation mit den modernen Distributionsmedien eine wichtige Rolle in der Konsumgesellschaft ein. Bilder werden intensiv für die Weckung von Bedürfnissen, Kaufreizen oder aber für die „Imagerybildung" verwendet. Die Imagerybildung beschreibt die Bildung von Vorstellungen beim Betrachter auf Grund der aktivierenden Grafiken. Die Imageryforschung untersucht demnach die Prozesse der Entstehung, Verarbeitung, Speicherung und Verhaltenswirkung bildhafter Vorstellungen. Imagerys definieren im Gedächtnis gespeicherte Eindrücke, die nach der visuellen Reizung bestehen bleiben oder auch selbst generiert wurden. Diese, in der kognitiven Psychologie der 1970er Jahre aufgegriffene, Betrachtungsweise wurde schon in der Antike beschrieben und von Aristoteles in die Vorstellung (phantasmata) und das Verständnis (ta noeta) unterteilt [Müller 2002, S. 107].

Der Vorteil der bildhaften Kommunikation liegt einerseits in ihrem Leistungsumfang und andererseits in der intensiven emotionalen Beeinflussung. Bezüglich des Leistungsumfangs werden beispielsweise für ein Bild mittlerer Komplexität ca. 2 Sekunden gebraucht, um ins Gedächtnis aufgenommen zu werden. Im selben Zeitraum können ca. 12 Worte vermittelt werden. Zusätzlich zu der reinen Informationsvermittlung hinterlässt das Bild seine vermittelnde bildliche „Stimmung". Der Inhalt des Bildes wird weitgehend automatisch und bequem, d.h. mit geringen gedanklichen Anstrengungen, aufgenommen. Bei der

emotionalen Beeinflussung führt die Bildkommunikation den dominanten Anteil der Verhaltensbeeinflussung durch. Mit der Realitätsnähe und den daraus übereinstimmenden Schemata wirken Bilder realitätsnäher, sind reizstärker und somit für die emotionale Konditionierung gut geeignet.

Beispiel: Ein Pärchen sitzt im Wasser und schaut aufs Meer zu den Booten…(12 Worte)

Abb. 2-2: Bildliches Beispiel zur Bildkommunikation.

Im Blickverlauf bei der Informationsaufnahme dieses Beispiels [Abb. 2-2] wird generell das Bild wegen der Schnelligkeit und Bequemlichkeit zuerst betrachtet (1). Die Detailverarbeitung (2) richtet sich nach dem inhaltlichen Reiz (das visuelle Ereignis), dem gewohnheitsmäßigen Blickverhalten der Person (Involvement) und den ablenkenden Einflüssen der Situation (dem Reizumfeld). So wird zuerst ein Überblick geschaffen und ein grundsätzliches Verständnis aufgebaut. Die Detailaufnahme verwendet dann intensivere Mustervergleiche und gespeicherte Schemata. Abweichungen kleiner Details von bekannten Schemata erhöhen die Betrachtungsdauer und involvieren den Betrachter. Im Gegensatz zu Sprache, die sequentiell und mit hoher kognitiver Belastung verarbeitet wird, werden Bilder ganzheitlich, bequem und auf unbewusster Basis aufgenommen [Kroeber-Riel 1993].

Die Bildwirkung beruht großteils auf dem realen Charakter, den Bilder vermitteln. Bilder umfassen für diese Betrachtung Gemälde, Fotos, Zeichnungen, Film mit Bezug zu konkreten Sachverhalten und auch mythologische und verfremdete Bilder. Sie ordnen sich in drei Ebenen der Wirklichkeit ein: der Objektebene, Darstellungsebene und psychischen Ebene. Die Objektebene beinhaltet das Objekt selbst. Die Darstellungsebene umschreibt das Objekt bildlich oder sprachlich. Die psychische Ebene besteht aus dem inneren Bild des Betrachters und seiner „sprachlichen“ Vorstellung. Diese Ebenen der Wirklichkeit spiegeln sich im kartografischen Kommunikationsprozess wider (siehe Kap. 2.2).

Die inneren Bilder sind konkrete visuelle Vorstellungen eines Menschen, die in Wahrnehmungsbilder und Gedächtnisbilder eingeteilt werden können. Während Wahrnehmungsbilder gelernte und gespeicherte Abbildungen von „Objekten“ im Kurzzeitgedächtnis sind, beschreiben Gedächtnisbilder im Langzeitgedächtnis die Vorstellungen von einem Gegenstand bei Abwesenheit. Diese Bilder des Langzeitgedächtnisses können von den Wahrnehmungsbildern abweichen. Einzelne Bildelemente und viele Details werden schnell vergessen und lediglich die Bedeutung des Bildes wird abgespeichert. Äußere Reize unterschiedlicher Modalität, passende Erlebnisse oder interne Suchvorgänge rufen die Gedächtnisbilder auf [Schuster 2000]. Der Prozess des Aufrufens erzeugt grundsätzlich Aktivierung. Aktivierung stimuliert die weitere Verarbeitung und stellt den Kontakt vom Bild zum Betrachter her. Erzeugt wird Aktivierung durch Verwendung emotionaler-, kognitiver- oder physisch-physikalisch intensiver Reize. Emotionale

Reize umfassen biologische Reize, wie erotische Reize oder das Augenschema (die besondere Anziehungskraft von Blicken drückt unsere Emotionen aus: Der Blick ist getrübt, unsere Blicke können „töten“, wir schauen jemanden bedrohlich an, wir können sehnsuchtsvoll blicken, zärtlich und liebevoll). Kognitive Reize werden durch gedankliche Konflikte und Widersprüche, Verfremdung bekannter Worte oder Bilder oder den Verstoß gegen Erwartungen und Schemata überraschend hervorgerufen. Physisch intensive Reize beruhen auf der Darstellungsgröße (Aufhebung der wahrnehmbaren retinalen Bildbegrenzung), der Farbe, die eine hohe Erinnerungswirkung beinhaltet, dem Schriftstil und der Schnittfolge und Lautstärke beim Film [Kroeber-Riel 1993].

2.1.2.8 Geo-Kommunikation

Die Kartografie verwendet für die Vermittlung von raumbasierten Inhalten hauptsächlich grafische Elemente, die im Bereich 3D zunehmend bildlichen Charakter annehmen. Sie kann also als Teil der Bildkommunikation gesehen werden. Multimediale Technologien erweitern die Wirkungsleistung des grafischen Bildes und folgen dem Prinzip der dualen Kodierung, welches ursprünglich der Theorie von Allan Paivio [Paivio 1986] folgt. Demnach werden konkrete Informationen mit vorhandenen inneren Bildern assoziiert und somit dual in einem sprachlichen Code und Bildercode gespeichert. Viele der kartografischen Zeichen entsprechen durch ihren hohen Abstraktionsgrad einer sprachlichen Kodierung. Ergänzt mit bildhaften und multimedialen Inhalten steigert sich die Wirkungsleistung der Karte nach Paivio´s Theorie.

Die Geo-Kommunikation besteht aus einer komplexen Kommunikationstopologie. Zusätzlich zu der Bildwirkung der Karte und ihrer einzelnen Elemente gilt es, korrekte geometrische Inhalte zu vermitteln. Das Gegenspiel zwischen besonderer Bildwirkung und Geometrie bestimmt den Abstraktionsgrad, die Informationstiefe, die räumliche Korrektheit und das Ausmaß der immanenten Eigenschaften in der Karte. Als Kommunikationspartner stehen sich der Kartenbenutzer, der Kartograf und Applikationsanbieter gegenüber, wobei die Karte für sich das Kommunikationsmedium darstellt (siehe Kap. 2.2).

Der Fachbereich Kartografie positioniert sich in der Massenkommunikation, an der Schnittstelle eines humanen technischen Bereichs der Kommunikation. Ein Produzent erreicht mit dem Übertragungsmedium viele Empfänger. Die technische Ausformung der Kommunikation erreicht mit den multimedialen und besonders mit den dreidimensionalen Mitteln eine hohe Evolutionsstufe (nach Merten), die durch die breite Unterstützung der menschlichen Sensorik eine „reale“ Vermittlung von virtuellen Informationsräumen ermöglicht. Der Kartografie stehen somit aus kommunikationstheoretischer Sicht modernste Kommunikationsmittel zur Aufgabenerfüllung, der Vermittlung raumbasierter Inhalte, zur Verfügung. Es fehlt die Anpassung der bislang entwickelten Zeichensprache der Kartografie an die modernen Kommunikationstechnologien, um das Leistungsspektrum des „Bildes“ beim Informationstransfer auszuschöpfen. Dem zu Grunde liegen die „bedeutendsten“ Kommunikationsmodelle, die dann in der Theorie des kartografischen Kommunikationsprozesses und bei der Einbindung von 3D Präsentationselementen berücksichtigt werden sollen.

2.1.3 Bedeutende Kommunikationsmodelle

Unterschiedlichste Kommunikationsmodelle beschreiben die Vorgänge bei der Vermittlung von Information und versuchen ihre Wirkungsereignisse zu formalisieren. Dieses sind die wichtigsten Ergebnisse der massenkommunikativen Wirkungsforschung. Oftmals ist nur die schematische Darstellung und formale Abbildung mit Hilfe dieser Modelle das Ziel, um die Vorgänge computerbasiert nachzubilden [Bülthoff 2001]. In ihrer einfachsten Form beschreibt Kommunikation die Übertragung von Information von ei-

nem Kommunikationspartner zu einem anderen. Dieses einfachste Modell der Kommunikation bildet die Grundlage sämtlicher weiterer und komplexerer Modelle, die unterschiedliche Parameter voraussetzen und in einer komplexen Topologie resultieren. Als bedeutende Modelle der Massenkommunikation sind das Black-Box Modell, S-R und SOR Modell, die Laswell Formel, das Westley/Maclean Modell, Feldschema von Maletzke, Theorien nach Friedemann Schulz v. Thun, Niklas Luhmann, Klaus Merten (siehe 2.1.2), Shannon&Weaver und relationale Ansätze zu nennen.

2.1.3.1 Das Black-Box Modell

Das Black-Box Modell ist in der Instinkttheorie verwurzelt, wo von angeborenen und uniformen biologischen Mechanismen ausgegangen wird. Nach dieser Theorie besitzt der Mensch ein Repertoire von Instinkten, die bei Anregung durch einen äußeren Reiz (Stimulus) fixierte Verhaltensweisen auslösen. Das einzelne Individuum besitzt keine Kontrolle über diesen Mechanismus. So würden die Reize bei allen Individuen ähnliche Reaktionen auslösen. Dieser rein behavioristische Ansatz versucht, gesetzmäßige Beziehungen zwischen Reizen, die als Input auf einen Organismus einwirken, und Reaktionen (Responses) herzustellen. Nachdem in diesem Modell soziologische und generelle Einflüsse ausgeschlossen werden und das Individuum isoliert betrachtet wird, handelt es sich um eine so genannte Black-Box.

2.1.3.2 Das S-R Modell

Das Stimulus Response Modell (auch „hypodermic needle theory“) basiert auf der Omnipotenz der Massenmedien und deren Funktion als Manipulationsinstrument für ganze Gesellschaften. In diesem Modell findet eine Gleichsetzung von Inhalt und Wirkung statt [Kobzina 2006]. So erreichen sorgfältig gestaltete Stimuli über die Massenmedien jedes Individuum auf gleiche Weise. Jedes Gesellschaftsmitglied nimmt die Reize in gleicher Art und Weise wahr, die bei allen Individuen ähnliche Reaktionen auslösen. Diese einfache Vorstellung der mechanischen Reiz-Reaktion-Wirkungsweise der Massenmedien könnte sich nicht etablieren.

2.1.3.3 Das S-O-R Modell

Die Unzulänglichkeit der einfachen S-R Modelle (auch des Black-Box Modells) führte zum Stimulus-Objekt-Response Konzept, in welchem auch auf die bisherige „Black-Box“ fokussiert wird. Individuelle Vorlieben und Einstellungen werden als zentrale Variable im Beeinflussungsprozess anerkannt. Anstelle der Instinkttheorie tritt die Lerntheorie in Kraft. Das Kleingruppenkonzept ersetzt die zu generelle Theorie der Massengesellschaft. Das Individuum wird weder isoliert noch als integrer Bestandteil der Gesellschaft klassifiziert, sondern ist Mitglied vieler Gruppen mit gewissen Charakteristika (Familie, Freunde, Arbeit, ...). Diese dienen als Orientierungsrahmen für die individuellen Verhaltensweisen. Es gilt nunmehr, die individuelle psychische Disposition für den kommunikativen Wirkungsprozess zu bestimmen und Einstellungen/Vorlieben als relevante Variable zu begreifen. Im Zuge der gruppenweisen Individualisierung muss in diesem Modell auch die Erreichbarkeit potentieller Rezipienten thematisiert werden. Der Stellenwert der zwischenmenschlichen Kommunikation im Kontext der massenmedial vermittelten Inhalte steht im Zentrum der Diffusionsforschung [Greenberg 1964, Horsky 1983, Katz 1963], wo die Verbreitung massenmedial vermittelter Inhalte hinterfragt wird.

Unter Einstellung wird die Tendenz „auf ein Objekt (Gegenstand, Person, Präsentation usw.) mit bestimmten positiven und negativen Gefühlen, Wahrnehmungen und Vorstellungen sowie Verhalten zu reagieren“ verstanden. Die Einstellungen beeinflussen das Einstellungskonzept mit funktional voneinander abhängigen Wirkungsbereichen. Diese unterscheiden sich in Verhalten, Wissen, Meinungen, Emotion, Tiefensphären des Psychischen und den physischen Bereichen (Augenschäden, Schlafstörungen, usw.) [Kobzina 2006].

Grundsätzlich kann jede Einstellung in drei zentrale Komponenten zerlegt werden: 1. Die kognitive Komponente (auch Wissenskomponente) betrifft die grundsätzliche Existenz von Vorstellungen oder Wahrnehmungen. 2. Die affektive Komponente (auch Gefühlskomponente) bezeichnet die Vorstellung oder Wahrnehmung begleitende Emotionen. 3. Die konative Komponente (auch Handlungskomponente) beschreibt Verhaltenstendenzen, die durch die Vorstellung oder Wahrnehmung des Objektes aktiviert werden. S-O-R Modelle gehen also von einer stufenweisen Kommunikation aus, die zuerst kognitive, dann affektive und zuletzt konative Reaktionen auslöst [Wurm 2006].

2.1.3.4 Die Laswell Formel

Laswell hat 1927 eine Basis für sämtliche Modellbildungen der Massenkommunikation geschaffen. In Anlehnung an den Behaviorismus hat er versucht, die Wirkung von Propaganda mittels eines Stimulus-Response Modells zu erklären [vgl. Frindte 2001, 29 f]. Dieses Modell besteht grundsätzlich aus den drei Elementen Kommunikator, Stimulus und Rezipient. Zusammengefasst geht es um den Transport von etwas von einem Punkt zu einem anderen, wie in einem Container. So können diese drei Komponenten auch bestimmte Rollen im Kommunikationsprozess bezeichnen.

Der Versuch die Einseitigkeit des S-R Schemas als Wirkung eines Senders auf einen Empfänger zu überwinden, resultierte in der sogenannten Laswell Formel: „Who says what in which channel to whom with what effect?“. Diese Formel reduziert den Kommunikationsprozess auf fünf statisch angeordnete Positionen, die mittlerweile jede für sich einen eigenen Forschungsbereich repräsentiert:

Wer = Kommunikator = Kommunikationsforschung

sagt was = Aussage = Inhalts- und Aussageanalyse

in welchem Kanal = Medium = Medienforschung

zu wem = Rezipient = Publikums- und Rezipientenforschung

mit welcher Wirkung = Wirkung = Wirkungsforschung

Die fünf Positionen des Modells werden vielmals als einseitig-kausal (einseitige Betrachtung) kritisiert, da sich diese zu statisch und linear darstellen. Ebenso werden nicht alle Forschungsbereiche der Massenkommunikation abgedeckt bzw. kann der Prozesskomplexität nicht entsprochen werden.

2.1.3.5 Das Westley/Maclean Modell

Das Westley/Maclean Modell veranschaulicht den Übertragungsprozess einer Botschaft und potentielle wechselseitige Störungen in einem derartigen Vorgang. Es wird dabei von einer 20%igen umweltbeeinflussten und 80%igen medienbeinflussten Informationsaufnahme eines Rezipienten ausgegangen. Im beschreibenden Ablauf werden zunächst bestimmte Umweltobjekte und Ereignisse selektiv von so genannten „Anwaltschafts-Rollen“ aufgenommen. Über ein Gatekeeper (Feinverteilungsnetz), welches selbst noch weitere Ereignisse aufnehmen kann, gelangen die Ereignisse zum Rezipienten. Der Prozess der Nachrichtenübermittlung in einem Massenmedien-System wird damit als dreistufig definiert. Alle Akteure in diesem Modell sind durch Feedback Prozesse miteinander verbunden [Lacy 1989].

Das Modell geht davon aus, dass die „Anwaltschafts-Rollen“ A (Journalisten, Kartographen, …) im Idealfall die Realität in höchstem Objektivitätsgrad in „Nachrichten“ C darstellen (also so, wie sie wirklich ist). Bekannterweise unterliegen aber auch die Anwaltschafts-Rollen verschiedensten Einflüssen X, die eine objektive Darstellung beeinflussen. Das Modell ist also eine zu einfache Sicht des realen Massenkommunikationsprozesses.

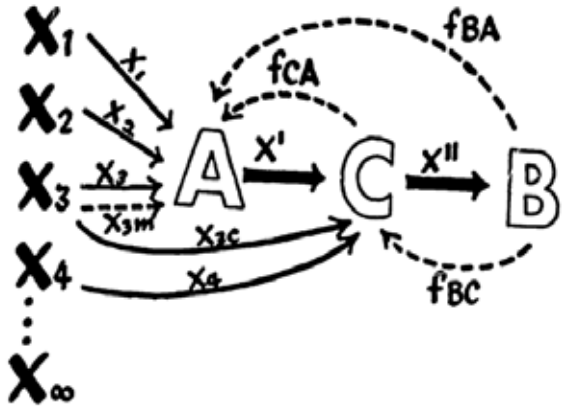


Abb. 2-3: Westley/MacLean Model als schematische Darstellung, Lacy 1989.

2.1.3.6 Das Feldschema von Maletzke

Maletzke versteht unter Kommunikation im engeren Sinn den Vorgang der Verständigung und der Bedeutungsvermittlung zwischen Lebewesen [Maletzke 1963, S. 18]. Eine Aussage wird vom Kommunikator durch geeignete Stoffwahl und Gestaltung produziert. Mitbestimmend wirken dabei seine Persönlichkeit, allgemeine soziale Beziehungen, Einflüsse der Öffentlichkeit und das engere Arbeitsumfeld des Kommunikators. Weiters wird die Aussage dabei den technischen und dramaturgischen Besonderheiten des Mediums angepasst. Die tatsächliche Aufnahme beim Rezipienten hängt dann von dessen Persönlichkeit ab, sowie seinen sozialen Beziehungen und den Eigenarten des Mediums, die unterschiedliche Wirkungen auf den Rezipienten haben können. Somit kommt trotz Einseitigkeit der Massenkommunikation ein indirektes Feedback zustande.

Die wichtigsten Charakteristika des Feldschemas von Maletzke beschreiben

- die Abhängigkeit von Kommunikator und Rezipient in ihrer subjektiven, psychischen und sozialen Umgebung. Eine isolierte Betrachtung der beiden Akteure ist damit nicht möglich.
- die Beeinflussung des Kommunikators und Rezipienten durch ein wechselseitig vorhandenes „Fremdbild".
- die Asymmetrie des Schemas durch die Informationsselektion und Aufbereitung des Kommunikators. Der Rezipient ist diesem Prozess untergeordnet.

2.1.3.7 Theorie nach Friedemann Schulz v. Thun

Hinter der Theorie von Friedemann Schulz v. Thun steht ein ganz individuumzentriertes Konzept der Kommunikation in der Folge der Informationstheorie von Shannon&Weaver. Friedemann Schulz v. Thun geht es kaum um eine theoretische Fundierung, sondern vor allem um die Praxis. Er setzt das störungsfreie Miteinander-kommunizierenwollen ohne Begründung voraus. Der Verzicht der theoretischen Fundierung wird beim Ausgang von drei Ansätzen sichtbar, deren Zusammenhang nicht deutlich gemacht wird. Diese Ansätze betreffen das Individuum, die Art des Miteinanders und die institutionellen bzw. gesellschaftlichen Bedingungen [Schulz v. Thun 1981, S. 19ff].

Die Theorie benennt mit dem Sachinhalt, dem Appell, der Aussage über eine Beziehung der Gesprächspartner und der Mitteilung eines Sprechers über sich vier verschiedene Inhalte. Hierbei bestimmen den Beziehungsaspekt einer Botschaft vor allem die Formulierung, der Tonfall und weitere nonverbale Signa-

le. Demnach begleitet Nonverbales die Inhalte einer Nachricht, um eine Aussage zu „qualifizieren“ [Schulz v. Thun 1981].

2.1.3.8 Theorie von Niklas Luhmann

Der Ansatz von Niklas Luhmann verzichtet konsequent auf den Subjektbegriff. Kommunikation wird als gesellschaftliche Operation verstanden. Die Gesellschaft wird als ein „operativ geschlossenes System sinnhafter Kommunikationen“ verstanden [Luhmann 1990, S. 62]. „*Ein soziales System kommt zustande, wenn immer ein autopoietischer Kommunikationszusammenhang entsteht und sich durch Einschränkung der geeigneten Kommunikation gegen die Umwelt abgrenzt. Soziale Systeme bestehen demnach nicht aus Menschen, auch nicht aus Handlungen, sondern aus Kommunikationen*“ [Luhmann 1990, S. 269].

Luhmann greift die systemtheoretische Grundidee, dass Informationen nicht von System zu System übertragen werden können, auf und bildet so seine Theorie:

- Kommunikation ist an menschliche Sozialgemeinschaften gebunden und somit eine exklusiv gesellschaftliche Operation.
- Kommunikation wird an sozial ausgearbeiteten und in Sprache gebundenem Sinn erfasst. Sie ist also ein „innenhaftes“ Reden und Schreiben über die Umwelt und des Bezugssystems.
- Es gibt nur Kommunikation zwischen Menschen über alle anderen Arten von Systemen in der Umwelt. Es gibt also keine Kommunikation zwischen den Menschen (der Gesellschaft) einerseits und anderen Systemen (Natur, Technik) andererseits.
- Die Wechselwirkung (Resonanz) findet nur zwischen dem System und seiner Umwelt statt. Die Wechselwirkung ist keine systembildende Kraft und kein kommunikativer Prozess.
- Kommunikation ist eine aktive und zielgerichtete menschliche Handlung, deren Qualität durch das Erfolgskriterium „Zielerreichung“ definiert ist.

2.1.3.9 Informationstheorie nach Shannon&Weaver

Die Informationstheorie von Shannon&Weaver, herausgegeben 1949 als „The Mathematical Theory of Communication“ bildet ein zentrales Werk, welches wegen seiner besonderen Betrachtung des Dekodierungsproblems eher der Informationstheorie zugeordnet werden kann. Weaver versteht Kommunikation im weitesten Sinn als Kontakt der verschiedensten Art und Weise: „*The word communication will be used here in a very broad sense to include all of the procedures by which one mind may affect another. This, of course, involves not only written and oral speech, but also music, the pictorial arts, the theatre, the ballet, and in fact all human behavior. In some connections it may be desireable to use a still broader definition of communication, namely, one which would include the procedures by means of which one mechanism (say automatic equipment to track an airplane and to chasing this airplane). The language of this memorandum will often appear to refer to the special, but still very broad and important , field of the communication of speech; but practically everything said applies equally well to music of any sort, and to still or moving pictures, as in television*“ [Weaver 1972, S. 3 f].

Die grundsätzliche Modellierung kann in Anlehnung an die Modalitäten der Telekommunikation veranschaulicht werden: Ein Sender schickt über einen Übertragungskanal die Information zu einem Empfänger, wobei das Signal in elektrische Spannung transformiert und so kodiert und wieder dekodiert werden muss. Im Rahmen der technisch basierten Informationstheorie ist ein einheitlicher Code für den Sender und Empfänger Voraussetzung für die erfolgreiche Kommunikation. Bei der verbalen zwischenmenschli-

chen Kommunikation muss ein solcher Code Bezug auf die Bedeutung nehmen. Shannon und Weaver lösen dieses Problem durch eine Zweiteilung auf der Sender- und Empfängerseite. Ein semantischer Sender transformiert Bedeutungen in ein „Output“ und schickt dieses Signal an den technischen Sender, der die Transformation an die Kanalgegebenheiten vornimmt und an den technischen Empfänger weiterleitet. Dieser dekodiert das technische Signal und steuert den semantischen Empfänger an [Shannon und Weaver 1949, S. 26]. Mit dieser Vorgehensweise dehnt sich die Störanfälligkeit von der technischen Ebene bis in die semantische Ebene aus. Die menschliche Kommunikation wird in diesem Sinne als Signalübertragung zumindest konzipierbar und verlangt nur nach einem einheitlichen semantischen Code, der vorher kommuniziert/festgelegt werden muss [Petersen 2002, S. 17].

2.1.3.10 Ordnungsrelationen der Kommunikation

Die Zusammenfassung der angeführten Modelle resultiert generell in der Identifikation von vier Grundgrößen: Kommunikator, Aussage, Medium und Rezipient. Diese vier Faktoren ergeben untereinander kombiniert sechs Relationen, die eine Ordnungshilfe darstellen und die Beziehungen im Kommunikationsprozess darlegen [Burkart 2002].

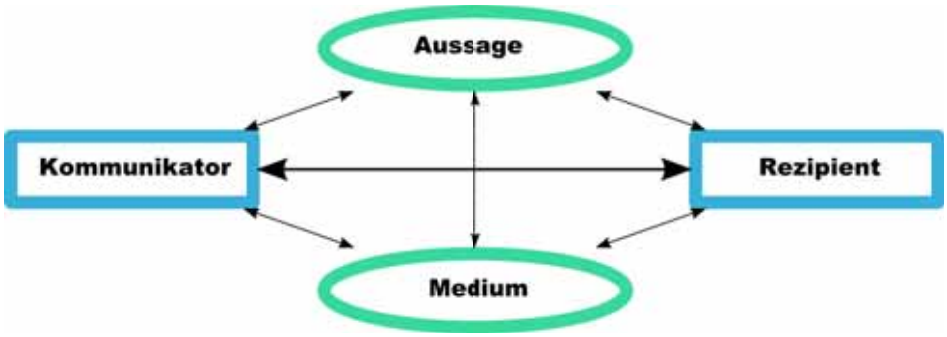


Abb. 2-4: Relationen der vier Grundgrößen.

2.1.3.10.1 Kommunikator und Aussage

Generell verpackt der Kommunikator seine Intentionen in die Aussage und wendet seine Kriterien der Selektion an. Er begibt sich damit in eine „Zwang“-Situation, denn er wird „beim Wort“ genommen. Im grafischen Fachbereich (auch Kartografie) folgt der Kommunikator (Grafiker, Kartograf) bei der Erstellung der Aussage den Vorgaben eines Ausdruckzieles, der Kartennutzung oder eines Auftraggebers.

2.1.3.10.2 Kommunikator und Medium

Das Medium mit seinen spezifischen Eigenschaften übt auf den Kommunikator den Zwang bezüglich Gestaltung und Auswahl des Stoffes aus. Das hauptsächliche Ziel des Kommunikationserfolges fordert, die Eigenschaften der Übertragungsmedien im Kommunikationsprozess hinsichtlich der eindeutigen Kodierung und Dekodierung zu berücksichtigen.

2.1.3.10.3 Kommunikator und Rezipient

Die Massenkommunikation ist vom indirekten und einseitigen Vollzug der Kommunikation geprägt. Das bedeutet, dass das Erreichen des Kommunikationszieles nicht direkt beobachtbar ist und die Rezipienten sich nicht derselben Mittel der Rückmeldung bedienen können. Diese technisch bedingte Einseitigkeit schließt aber wechselseitige Beziehungen zwischen Kommunikator und Rezipient nicht aus, besonders wenn spontanes Feedback mit neuen Technologien, wie Web 2.0 (Geo-Tagging, …), ermöglicht wird.

2.1.3.10.4 Aussage und Medium

Die Relation zwischen Aussage und Medium basiert auf der wechselseitigen Abhängigkeit von Mediumcharakteristik und Ausdruckziel. Der Inhalt der kartografischen Präsentation muss demnach der Übertragungsleistung des Mediums angepasst werden. Liegen beispielsweise 13 Informationspunkte für die Aussage vor, reichen 7 Übertragungspunkte eines Mediums nicht aus. Es muss eine Vereinfachung der Aussage erfolgen. Die tatsächliche Relevanz dieser Relation wird erst sichtbar, wenn man Kommunikator und Rezipient in die Betrachtung miteinbezieht. Der Zwang des Mediums (auf der Kommunikatorseite) steht mit Abhängigkeit der Mediencharakteristik in direkter Verbindung zum Erleben und der Wirkung von Aussagen auf der Rezeptorseite.

2.1.3.10.5 Rezipient und Aussage

Die Relation von Rezipient und Aussage betrifft den Wahrnehmungprozess beim Rezipienten. Die perzeptiv gesicherte Wahrnehmung der Aussage beim Rezipienten kann als selektive, projektive, sinn- und gestaltgebende Aktivität verstanden werden, wobei die Selektion, Projektion und Gestaltung auf Basis des bestehenden (Vor-)Wissens beim Rezipienten geformt wird. Es kommt also zu einer Interpretation der Aussage im Sinn der aktiven Bedeutungszuweisung und nach deren Wichtigkeit zur Speicherung im Gedächtnis. Dabei wird nach Wirkung der Medienaussagen im Gegenspiel von Erinnern und Behalten neues Wissen aufgebaut.

2.1.3.10.6 Rezipient und Medium

Die Bedeutung der Relation Rezipient und Medium liegt vor allem in den Eigenarten der verschiedenen Medien und ihren Folgen für die Selektion, Erleben und Wirkungen. Eine hohe Unterstützung menschlicher Sinnesmodalitäten resultiert in einem hohen Immersionsgrad und einem sinngemäß „realen Erleben“ der Präsentation. 3D Präsentationen als Informationsträger bieten so eine hohe Wirkung durch ihre Analogie mit der realen Welt einerseits und liefern mit direkter Interaktionsmöglichkeit einen hohen Wirkungsgrad andererseits (Eingreifen in die synthetische Welt). Grundsätzlich liefert jedes Übertragungsmedium als Kombination von Merkmalen etwas Neues und Eigenes. Diese Kombination der Eigenschaften bietet mehr als nur die Summe der einzelnen Merkmale.

2.1.3.11 Psychologische Modelle als theoretische Basis von Behaviorismus bis Kognitivismus

Die Kommunikationsmodelle versuchen, den komplexen Vorgang Kommunikation modellierbar zu beschreiben. Die direkte Abhängigkeit von den individuellen Bedürfnissen und Verhalten des Menschen erschwert diese Intention. Für die konkrete Realisierung der Modellbildung wird es notwendig, einen „Standardmenschen“ als Grundgröße heranzuziehen. Generell wird diese „Standardisierung“ mittels Klassifizierungskatalogen, die in der Multimediakartografie als Basis für eine nutzerorientierte Entwicklung gelten [Nivala 2005, Reichenbacher 2003], durchgeführt. Dem „Standardmenschen“ liegen gedankliche Konstrukte, so genannte psychologische Modelle, als theoretische Basen der Verhaltens- bzw. Kommunikationsmodellierung vor.

Das menschliche Verhalten in der gesamten Vielfalt und Komplexität kann bis heute nicht in eine umfassende Theorie eingebettet werden. Besonders der Fachbereich der Psychologie unternimmt Anstrengungen, um menschliches Verhalten besser erfassen, erklären und beschreiben zu können. Unterschiedliche wissenschaftliche Ansätze in Form von weiteren Modellen geben einen wichtigen Anhalt für die Erstellung weiterer Theorien und Kommunikationsmodelle im Speziellen. Aus Verständnisgründen zu den angeführten Kommunikationsmodellen sollen folgend die wichtigsten psychologischen Modelle aufgezeigt werden [Buzin 2001, S. 64].

Die bedeutendsten psychologischen Modelle und gedanklichen Strömungen der menschlichen Psychologie sind das humanistische Modell, biopsychologische Modell, psychodynamische Modell, behavioristische Modell und kognitive Modell.

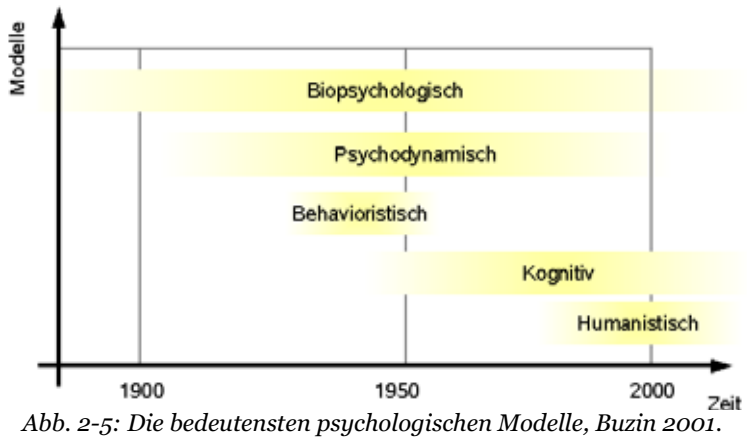


Abb. 2-5: Die bedeutensten psychologischen Modelle, Buzin 2001.

Das humanistische Modell stellt den Menschen in seiner Gesamtheit in den Mittelpunkt der Betrachtungen. Der Ansatz verfolgt das Ziel, dem Menschen zu einem „erfüllten" Leben zu verhelfen und nicht menschliches Verhalten durch systematisch und objektiv ausgerichtete Forschung zu erklären.

Das biopsychologische Modell verwendet die biologischen Grundlagen der menschlichen Anatomie, um das Verhalten des Menschen zu erklären. Es wird besonders nach Zusammenhängen zwischen Verhaltensmustern und entsprechenden Strukturen und Prozessen im zentralen Nervensystem geforscht, wobei vier Leitthesen im Vordergrund stehen:

- Menschliches Verhalten, Erleben und Bewusstsein können durch physikalisch/biochemische Vorgänge erklärt werden.
- Komplexe Phänomene werden durch die Reduktion auf einfachere, kleinere Einheiten niederer Ordnung erklärbar.
- Jedes Verhalten wird durch die Anatomie und ererbte Prozesse bestimmt.
- Erfahrung modifiziert diese Prozesse.

Das psychodynamische Modell definiert den „Trieb" als zentrale Motivationsquelle des menschlichen Verhaltens. Alles Handeln wird als biologisch festgelegtes Triebmuster verstanden, wobei der Mensch ständig im Konflikt mit seinen ganz individuellen Wünschen/Bedürfnissen und den Regeln/Erfordernissen der umgebenden Gesellschaft steht. Der bekannteste Vertreter dieser Modellausrichtung ist Sigmund Freud.

Das behavioristische Modell stellt den „Reiz" ins Zentrum seiner Betrachtungen. Im klassischen Behaviorismus wird das menschliche Verhalten völlig durch die Umweltbedingungen bestimmt. Das menschliche Individuum in seiner „Gutmütigkeit" bzw. „Bosheit" ist das Ergebnis der Umweltgegebenheiten. Dabei wird deskriptiv erfasst, welche Reize welches Verhalten beim Individuum hervorrufen. In diesem Modell fehlen Betrachtungen zu biochemischen Vorgängen oder zur inneren Motivation.

Das kognitive Modell macht die einzelnen Prozesse der Informationsverarbeitung für die menschliche Reaktion verantwortlich. Der reine reaktionsorientierte Ansatz des behavioristischen Modells wird hier um den aktiven Teil der kognitiven Informationsverarbeitung erweitert. Dieser aktive kognitive Teil geht einer etwaigen Reaktion durch den Kommunikationsempfänger/Benutzer voraus. Zimbardo (1997, S. 64)

beschreibt *„Der Begriff Kognition umfasst alle Prozesse und Strukturen, die traditionellerweise mit dem Etikett geistig versehen wurden, also etwa die Prozesse des Wahrnehmens, Schlussfolgerns, Erinnerns, Denkens, Problemlösens und Entscheidens und die Strukturen des Gedächtnisses, der Begriffe und Einstellungen. Oft werden kognitive Prozesse und Strukturen auch unter der Klammer der Informationsverarbeitung zusammengefasst.“*Das kognitive Modell ist heute eines der dominierenden Modelle der Psychologie mit dem einflussreichsten Ansatz für interdisziplinäre Kognitionswissenschaften.

Die kartografische Relevanz dieser chronologisch angeführten, psychologischen- und Kommunikationsmodelle begründet sich in der Erforschung der Kognitions- und Kommunikations-Mechanismen bei der Kartenverwendung, die nun sehr stark durch den multimedialen Charakter geprägt sind und den Einfluss des kognitiven Modells des Menschen erkennen lassen. Besonders 3D Präsentationsformen sind durch die „reale“ Kodierung in der Lage, einen hohen Immersionsgrad zu erzielen. Als unabdingbare Voraussetzung für die kognitive Verarbeitung gilt die perzeptive Wahrnehmbarkeit, denn nur wenn Objekte unmissverständlich von den Sinnen aufgenommen werden, können diese im Gedächtnis eindeutig und fehlerfrei zugeordnet werden. Damit wird der direkte Zusammenhang mit den Ordnungsrelationen der Kommunikation hergestellt, die die Beziehungen von Kommunikator, Rezipient, Medium und Aussage beschreiben und so auch die Wechselwirkungen für die kartografische Kommunikation darstellen. Die perzeptive Wahrnehmung steht in direkter Abhängigkeit zu den physiologischen und psychologischen Wahrnehmungsparametern des Menschen, die die Schnittstelle zum Übertragungsmedium und dessen Präsentationsmedien bilden. Für kartografische Zwecke im Besonderen liefert das verfügbare Medium die räumliche Darstellung in perzeptiv angepasster Weise, versorgt so die Sinneskanäle und unterstützt mit breit angesprochenem Wissensvorrat die kognitive Verarbeitung. Der Begriff „Medium“ ist in dieser Darstellung sehr umfassend ausgelegt. Eine Präzisierung des verwendeten Begriffes und eine weitergehende Unterteilung erscheint an dieser Stelle sinnvoll.

2.1.4 Der Begriff Medium

Der Medienbegriff ist sehr breit angelegt und wird mit jeder neu entstehenden Übertragungstechnik erweitert. Dabei grenzt der Begriff „Medium“ weder den Transport von Sender zu Empfänger noch die verschieden eingesetzten Mittel ab. Bei der Klassifizierung des Medium-Begriffes resultieren unterschiedliche Sichtweisen in verschiedenen Unterteilungen. Folgend sollen die Wichtigsten aufgezeigt werden.

2.1.4.1 Medium

Der Begriff Medium ist aus organisationssoziologischer Sicht durch charakteristische Begriffsbestandteile geprägt [Burkart, 2002, S 42 ff]. Diese bezeichnen Medien als Kommunikationskanäle, die auditive, visuelle bzw. audiovisuelle Zeichensysteme transportieren oder vermitteln. Weiters handelt es sich bei Medien um Organisationen, die vielfältige Leistungen und Funktionen für die Gesellschaft (bzw jeweilige Zielgruppen) erbringen. Ebenso bilden Medien für Herstellungs-, Bereitstellungs- und Empfangsprozesse mehr oder weniger komplexe soziale Systeme. Letztlich stellen Medien Institutionen dar, da Medien wegen ihres umfassenden Funktionspotentials in das jeweilige gesellschaftliche Regelsystem eingefügt und institutionalisiert werden.

Aus kommunikationstechnischer Sicht erscheint es sinnvoll, unterschiedliche Typen von Medien anzugeben [Bentele und Beck, 1994, S. 40]. Dabei werden materielle Medien (wie Luft, Licht, Wasser, Stein, Papier), kommunikative Medien oder Zeichensysteme (wie Sprache, Bilder, Töne), technische Medien (wie Mikrofone, Kameras, Sende- und Empfangseinrichtungen) und Medien als Institution (also die einzelnen

Medienbetriebe – bestimmte Zeitung oder Fernsehanstalt – und die Gesamtmedien – der Film, der Hörfunk, das Fernsehen) unterschieden.

Nach Harry Pross (1972) werden Medien in ein dreistufiges Modell eingeteilt und nach primären, sekundären und tertiären Medien unterschieden. Primäre Medien sind für zwischenmenschliche Kontakte, so genannte „menschliche Elementarkontakte", wie die non-verbale Sprache der Körperhaltung, Mimik, Gestik, aber auch die verbale Sprache. Zwischen Sender und Empfänger ist kein Gerät geschaltet. Sekundäre Medien benötigen auf der Seite des Senders Geräte für die Herstellung von Mitteilungen (Flaggensignale, Grenzsteine, Rauchzeichen, Schreib- oder Druckkunst). Als tertiäre Medien gelten jene Vermittlungsprozesse, die für ihre Erstellung, das Senden und das Empfangen Technik benötigen. Beispiele dafür sind Rundfunk, Telefon oder multimediale Karten, die auf der Sender- und Empfängerseite technische Voraussetzungen erfordern.

Für das Verständnis der weiteren Argumentation sollen die Typen der Medien nach Bentele und Beck herangezogen und näher spezifiziert werden. Die Klassen „technisches Medium", „materielles Medium" und „kommunikatives Medium" werden in Informationsmittel und Informationsträger [Wurm 2006, S. 27 ff] zusammengefasst. In den Fokus des multimedialen kartografischen Produktes werden somit die Übertragungsmethoden und -mittel gestellt. Informationsträger haben die Aufgabe, eine Information vom Sender zum Empfänger zu transportieren und bedienen sich dabei unterschiedlicher Sinneskanäle und Übermittlungsarten. Informationsmittel sind alle Instrumente, die dazu dienen, den Informationsinhalt zu verstehen und das Kommunikationsziel zu erreichen.

2.1.4.2 Informationsträger

Der Begriff „Informationsträger" bezeichnet jene materiellen und technischen Medien, die für den tatsächlichen Transport der Information zuständig sind. Dabei werden unterschiedliche Sinneskanäle, Übermittlungsarten und Techniken verwendet. Ein Hauptmerkmal des Informationsträgers ist die „Funktionalitätsumkehr" bei der Rezeption. Darunter versteht man eine Änderung der Richtung bei der Informationsextraktion. Generell verläuft der Informationsfluss vom Medium, dem Informationsträger, zum Empfänger. Da aber der Empfänger/Nutzer den Informationsträger selbst auswählen kann, ist dieser für die Art der Informationsaufnahme verantwortlich. Die selbstständige Wahl einer Papierkarte oder einer Multimediakarte auf DVD resultiert in einem individuell bevorzugten Informationsträger, der erwartungsgemäß die Informationsbedürfnisse stillen soll.

2.1.4.3 Informationsmittel

Informationsmittel sind reale, sinnlich wahrnehmbare Erscheinungsformen der Information. Diese folgen dem kartografischen Paradigma der effizienten Informationsvermittlung raumbasierter Information, wobei die perzeptive Schwelle, die von der menschlichen Physiologie und dem Informationsträger vorgegeben wird, nicht unterschritten werden darf. Es werden alle Instrumente, die der erfolgreichen Kommunikation dienen und helfen den Informationsinhalt zu verstehen, als Informationsmittel bezeichnet. In einer anderen Variante ausgedrückt, werden in Informationsmitteln Botschaften/Informationen gebündelt dargestellt. Im klassischen Sinn werden darunter Texte, Bilder, Videos, Animationen, 3D Elemente usw. verstanden [vgl. Schweiger et al 2001, S. 246].

Nach diesem Begriffsverständnis des Informationsträgers und Informationsmittels im Kontext mit der Kartografie nehmen 3D Elemente die Rolle von Informationsmitteln ein. 3D Elemente sind dann einzelne Botschaften im gesamten Informationsraum. Es werden also die Kodierungen der Botschaften mit 3D Symbolik durchgeführt. 3D kann aber auch für den gesamten Informationsraum zur Unterstützung von Metaphern [Die Rolle von Metaphern – Bürger 2001, Laurel 1993] eingesetzt werden, z.B. „Realraum

Imitation - VR“. Dann wird dieser virtuelle Raum zum Träger für viele Informationsmittel (Texte, Bilder, ..auch 3D Elemente), ohne selbst ein Informationsträger zu sein, denn der virtuelle Raum ist kein materielles oder technisches Medium. Damit wird die Möglichkeit der Verschachtelung bei Informationsmitteln deutlich.

Wird 3D als Informationsträger eingesetzt, dann sind dies physische 3D Modelle (z.B. Relief, Globus), auf welchen verschiedene Informationsmittel angebracht werden. Die Bedeutung der Medien, Informationsträger und Informationsmittel für die kartografische Kommunikation liegt bei den Grundgrößen, die für die Aufbereitung der Daten hin zu wahrnehmbaren Informationen benötigt werden. Die Eigenschaft des Informationsträgers stellt die zentrale Größe für die syntaktische Dimension, die Grammatik für die perzeptive Wahrnehmbarkeit, dar. Informationsmittel bilden Grundgrößen (Schrift, Zeichen, Sprache, ...) der semantischen Dimension, die für das Verständnis des Inhaltes und der Botschaften zuständig sind. Das Verständnis des Inhaltes und der aufbereiteten Botschaften im Kommunikationsprozess setzt ein gewisses Maß an Intelligenz voraus. Somit soll das Thema Intelligenz im Rahmen der erfolgreichen Kommunikation kurz angesprochen werden.

2.1.5 Intelligenz und erfolgreiche Kommunikation

Eine erfolgreiche Kommunikation erfolgt mittels verstandener Übertragung von gerichteter Information an bestimmte Empfänger. Ein Maß an Intelligenz, um mit der gerichteten Information umgehen zu können, ist Voraussetzung. Die Erweiterung des Verständnisses „Intelligenz“ von einem stark logisch-semantisch definierten Begriff (IQ) [Amelang 1997, Neubauer 1995] zu systemtheoretischen Aspekten (morphogenetische Felder – [Sheldrake 1999]), technischen Abbildungen (künstliche Intelligenz - KI) und emotionalen Dimensionen (Emotionaler Quotient - EQ) macht die Relation von Kommunikation und Intelligenz deutlich. Intelligenz und Kommunikation sind nicht wirklich getrennt voneinander fassbar, denn intelligentes Verhalten zeigt immer kommunikative Aspekte auf. Eine Interaktion mit der Umwelt benötigt Intelligenz. Bei sehr einfachen Lebensformen und Insekten bildet sich so eine kollektive Intelligenz, um als Gruppe auf Umwelteinflüsse zu reagieren und Überleben zu sichern.

Der Begriff *„morphogenetische Felder“* ist in der Biologie gut bekannt. Die Funktionsweise dieser Felder ist großteils unerforscht. Es handelt sich dabei um formgebende Kräfte bei Organismen, die deren Gestalt beeinflussen. Biologen nehmen an, dass diese Kräfte irgendwann als normale physikalische und chemische Phänomene erklärt werden können. Die Bedeutung der morphogenetischen Felder kann am Beispiel Architektur leicht veranschaulicht werden: Eine Stadt besteht aus unterschiedlichen Bauwerken und verschieden geformten Häusern. Die Baumaterialien sind generell identisch. Demnach würde eine Analyse der Materialien keinen Unterschied ergeben. Den tatsächlichen Unterschied findet man in den Plänen der Architekten, die aber in keiner chemischen Analyse auftauchen. Mit dieser Argumentation beschreibt Sheldrake über die morphische Resonanz das immanente Gedächtnis der Felder und bildet damit die Grundlage für seine Hypothese der Formenbildungsursachen [Sheldrake 1999]. Sheldrake geht dabei von der Existenz einer Intelligenz-Art aus, die für die Anpassung der Gestalt eines Organismus an die Umgebung verantwortlich ist.

Die *Künstliche Intelligenz (KI)* befasst sich mit der „Automatisierung“ intelligenten Verhaltens und kommt vorwiegend in der Informatik zum Einsatz [Görz et al 2003]. Der Begriff fußt auf der Einstellung, dass der Mensch als Maschine klassifiziert und damit nachgeahmt werden kann. Neben der so genannten starken KI, die versucht Intelligenz in Maschinen mit Bewusstseinsebenen und Emotionen zu erschaffen, fokussiert die so genannte schwache KI auf die Lösung konkreter Anwendungsprobleme, die ein endliches Maß an Intelligenz erfordern. Diese Simulationen der schwachen KI verwenden Werkzeuge der Mathematik und Informatik. Der Fachbereich der künstlichen Intelligenz bildet grundsätzlich zwei unter-

schiedliche Herangehensweisen: die symbolische KI steht der neuronalen KI und die Simulationsmethode der phänomenologischen Methode gegenüber [Russel et al 2002]. Während die neuronale KI per bottom-up Ansatz versucht, das menschliche Gehirn möglichst präzise nachzubilden, nähert sich die symbolische KI per top-down Ansatz den Intelligenzleistungen von der begrifflichen Ebene. Entsprechend orientiert sich die Simulationsmethode an den kognitiven Prozessen des Menschen, während der phänomenologische Ansatz nur das Ergebnis interpretiert. Die Untersuchung der Wirkungsweisen von 3D in der Kartografie berücksichtigt die Methoden der KI, da die neuronale Funktionalität verstanden und Bildwirkungen abgefragt werden sollen [Kroeber-Riehl 1993].

Die emotionale Dimension der Intelligenz wurde von Gardner [Gardner 1989] als Lücke der klassischen Intelligenzforschung erkannt. Sie fokussiert auf den bewussten Umgang mit der Kommunikation zwischen Menschen und des Menschen mit sich selbst, also eine inter- und intrapersonellen Kommunikation. Goleman definiert die emotionale Intelligenz als übergeordnete Fähigkeit, die die Nutzung sonstiger Fähigkeiten, wie beispielsweise den Verstand, begünstigt [Goleman 1996]. Er setzt emotionale Intelligenz aus den fünf Teilaspekten Selbstbewusstheit, Selbstmotivation, Selbststeuerung, soziale Kompetenz und Empathie zusammen. Selbstbewusstheit befähigt den Menschen seine Gefühlswelt zu akzeptieren und zu verstehen, Selbstmotivation beschreibt die Begeisterungsfähigkeit einer Beschäftigung nachzugehen, Selbststeuerung umfasst das planvolle Handeln in Bezug auf Zeit und Ressourcen, soziale Kompetenz betrifft die Güte des Beziehungsmanagements und Empathie erlaubt emotionale Empfindlichkeiten anderer Menschen zu verstehen und entsprechend zu reagieren. Der bewusste Umgang mit Gefühlen, Stimmungen und Affekten macht eine hohe emotionale Intelligenz aus, die von den angegebenen fünf Aspekten getragen wird und so dem Intelligenzquotienten als qualitative Bewertungsgröße ähnlich ist. Gegensätzlich zu Goleman gliedern Salovey und Mayer die emotionale Intelligenz in die vier Bereiche Wahrnehmung, Verwendung, Verstehen und Umgang mit Emotionen. Die Wahrnehmung von Emotionen befähigt die Mimik, Gestik, Körperhaltung und Stimme anderer nach ihren Emotionen zu differenzieren, die Verwendung von Emotionen dient der Unterstützung des Denkens, indem Zusammenhänge zwischen Emotionen und Gedanken gebildet werden, das Verstehen von Emotionen hilft bei der Analyse von Emotionen und der Umgang mit Emotionen ist Resultat der Ziele, des Selbstbildes und des sozialen Bewusstseins des Individuums [Mayer et al 2004].

Die aktuelle Komplexität der Thematik Intelligenz in der Forschung mit ihrem Einfluss auf die Kommunikation wird anhand des kurzen Überblicks schnell greifbar. Besonders die Bedeutung des emotionalen Faktors, der bislang nur wenig berücksichtigt werden konnte, kann durch die neueren Arbeiten [Ciompi 1997, Otto et al 2000, Schwarz-Friesch 2007] unterstützt werden. Werkzeuge, wie der Web 2.0 Standard im Internet, bieten neue Methoden, um Relikte von emotionalen Verhalten direkt „auslesen“ bzw. abfragen zu können. In Zusammenhang mit 3D in der Kartografie bildet der emotionale Faktor einen wichtigen Aspekt für die Akzeptanz und Beteiligung der Rezipienten in einer kartografischen Präsentation, die mit computergrafischen Gestaltungsmechanismen sehr leicht emotional geprägt werden kann (eine düstere Informationswelt oder bunte Fantasiewelt als 3D Umgebung der Informationsvermittlung).

Intelligenz kann im Kommunikationsprozess als jene Größe bezeichnet werden, die für das „Kombinieren“ neuen Wissens und somit für das Verstehen der gerichteten Information im Vermittlungsprozess verantwortlich ist. Ist ein hoher Grad an Intelligenz vorhanden, dann kann mit wenig individuellem (Vor-)Wissen neues eigenes Wissen generiert werden. Im Gegensatz benötigt ein geringes Maß an Intelligenz mehr (Vor-)Wissen des Individuums, um neues Wissen zu generieren. Achtet man auf einen hohen Immersionsgrad bei 3D Präsentationen im Einsatz für die Kartografie, dann setzen die Ähnlichkeiten der Präsentation mit dem realen Umfeld des Nutzers (sowohl wegen der Grafik als auch der natürlichen In-

teraktion) die Intelligenzschwelle tiefer. Es wird also generell weniger (Vor-)Wissen benötigt, um Informationen der Präsentation dem eigenen Wissen hinzuzufügen.

Die Intelligenz bildet eine unabdingbare Voraussetzung für die zwischenmenschliche Kommunikation. Besonders im Umgang mit interaktiven Systemen wird erst durch die Intelligenz eine Interaktion oder sogar Kommunikation (je nach Ausprägung des Informationssystems) ermöglicht. Die Grundlagen interaktiver Systeme, die den Menschen und seine Fähigkeiten als Systemelemente verwenden und diverse Systemsichten zur Interaktion zwischen Mensch und Computer bieten, sollen folgend in Kürze erläutert werden.

2.1.6 Grundlagen interaktiver Systeme (in der Kommunikation)

Generell liefert eine Karte aufgabenbezogene räumliche Informationen in komplexer Vielfalt. Mit digitalen Medien wird auf Grund der Auflösungsminderung der Displays/Interfaces auch der Informationsumfang geringer [Lechthaler et al 2006, Neudeck 2001]. Allerdings kann mit getrennt sichtbaren Darstellungsebenen der Informationsumfang des gesamten Systems vergrößert werden. Der Zugang zu den einzelnen Ebenen erfolgt dann durch Interaktion. Ebenso werden diverse Funktionen durch Interaktion mit dem System zugänglich gemacht. Der Mensch bildet demnach eine Systemkomponente bei der Interaktion mit der Maschine (Computer). Bei dieser Mensch-Maschine Kommunikation wird versucht, die geistigen Aktivitäten des Menschen zu mechanisieren, um die entsprechenden grafischen Schnittstellen und Hierarchien systemtechnisch vorbereiten und virtuelle „Kommunikationsprozesse“ starten zu können [Raskin 2000]. Erst die grafischen Schnittstellen mit der strukturierten Visualisierung ermöglichen eine direkte Manipulation von Informationen und unterstützen die komplexe Aufgabenbewältigung [Stary 1996, S. 13]. Virtuelle „Kommunikationsprozesse“ bezeichnen die scheinbar freie Kommunikation des Nutzers mit der Maschine, obwohl jegliche Antwort des Systems von einem „Designer“ vorbereitet wurde (vgl. Abschnitt 2.1.7 - Direktionalität). Gleichzeitig wird die Auseinandersetzung mit den menschlichen Fähigkeiten und Werten notwendig, um die Schnittstellen auf diese Systempartner (Mensch/Nutzer) abstimmen und das bestmögliche Verständnis beim Nutzer hervorrufen zu können.

2.1.6.1 Menschliche Fähigkeiten als Systemelement

Das interaktive System umfasst neben den technischen Komponenten Hard- und Software, die das technische System Computer ergeben, die soziale Komponente Mensch. Es kann daher als sozio-technisches System bezeichnet werden [Stary 1996]. Der Mensch ist in diesem System jener Teil, der mit seinen Fähigkeiten und Wahrnehmungsvermögen bestimmt, wie interaktive Systeme überhaupt aussehen können, damit menschliche Nutzer mit dem technischen Teil Computer interagieren können. Durch diesen Einfluss des Nutzers auf das interaktive System müssen sowohl Wahrnehmungs- und Denkvorgänge, Gedächtnissystem und Merkfähigkeit als auch Wissen und Lernvorgänge, inklusive aller Beschränkungen, berücksichtigt werden (vgl. Abschnitt 2.3 und 2.4). Nur die Kenntnis der menschlichen Vielfalt an Fähigkeiten ermöglicht die Neuentwicklung von neuen Interaktionsmitteln.

Die interaktive kartografische Informationsverarbeitung umfasst den Prozess der Erstellung und Nutzung raumbezogener Visualisierungen. Dabei werden zwei-, drei- und vierdimensionale Visualisierungen und Präsentationen dargestellt, manipuliert und interpretiert [Dransch 2002]. Sie dient der Gewinnung von Information über den Raum. Die Mensch-Computer Interaktion bildet dabei eine wesentliche Komponente der kartografischen Informationsverarbeitung. Dadurch tritt der Mensch in eine wechselseitige Kommunikation mit dem Computer, wo zielorientierte Aktionen ausgeführt und deren Wirkung im Computersystem sofort verfolgt werden können [Dransch 2002]. Der Mensch-Computer Interaktion im Kontext mit den menschlichen Fähigkeiten liegen sowohl kognitionsorientierte als auch handlungsorientierte

Konzepte zu Grunde, die das menschliche Verhalten und Bedürfnisse abzubilden versuchen. Die kognitionsorientierten Konzepte basieren auf der Kognitionswissenschaft, die die informationsverarbeitenden Prozesse des Menschen und deren Ergebnisse untersuchen. Die handlungsorientierten Konzepte folgen der Handlungstheorie, die sich mit den menschlichen Handlungen und ihren beeinflussenden Faktoren befasst.

2.1.6.2 Die Systemsicht der Interaktion

Jener Ausschnitt der Welt, der nach Ansicht der Informatik als interaktives System bezeichnet wird, umfasst alle beobachtbaren und gestaltbaren Teile der Umgebung, in welche das menschliche und computerbasierte System eingebettet ist. Das interaktive System lässt sich umso genauer abgrenzen, definieren und anwenden, je genauer die Umgebung beschrieben wird. Besonders für etwaige Testumgebungen wird es sinnvoll, das komplette interaktive System, und nicht nur die computerbasierte Komponente, zu berücksichtigen, da verschiedenste Einflussfaktoren im Testverfahren unberücksichtigt bleiben würden.

Die Systemsicht der Interaktion benutzt verschiedene Prinzipien für die Modellierung der computerbasierten Komponente. Diese werden wegen einiger Unterschiede der direkten Beobachtbarkeit und Fasslichkeit in Hard- und Software unterteilt. Generell wird ein „styleguide“ als Menge von Richtlinien zur Gestaltung von Benutzerschnittstellen und Einbettung des interaktiven Systems verwendet. Die visuelle Darstellung und deren Präsentation auf Interaktionsmedien wird mit den „look“ Prinzipien angesprochen. Der benutzerbezogene Umgang mit den Interaktionsmedien wird als „feel“ bezeichnet [Stary 1996, S. 181 f].

2.1.6.3 Das Element 3D im interaktiven System

Mit der intensiven Kenntnis menschlicher Sinnesverarbeitung beispielsweise in den Bereichen Sehen, Hören, geistige Wahrnehmung und Motorik werden neue Interaktionsmittel besonders im Bereich 3D, den virtuellen Welten, ermöglicht. Hier wird besonders ein hohes Maß an Durchdringung dreidimensional aufbereiteter Information beobachtet [Jenkin 2001], indem mit der Präsentation der Wahrnehmungsraum des Benutzers nachgeahmt und die kognitive Verarbeitung animiert wird.

Champion beobachtet in seinen Tests mit virtuellen „Spiel-Umgebungen“, dass nicht nur die Hand-Augen Koordination gefördert wird, sondern auch das räumliche Gedächtnis. Benutzern, die begannen, 3D „ego-shooter“ Spiele zu verwenden, konnte ein deutlicher Anstieg ihrer räumlichen Gedächtnisleistung nachgewiesen werden. Die Fähigkeit zur Erinnerung, was bei einem Übergang zu einer neuen „räumlichen Zelle“ passiert, ist nicht auf ein spezifisches Spiel fixiert, sondern ist eine Fähigkeit, die übertragbar/kopierbar zu anderen Situationen ist [Champion 2005]. In seiner Darstellung von episodischem versus sequentiellem „Kartieren“ (hier bezieht sich der Begriff Kartieren auf die mentale Karte, das mentale Modell) geht er von einer anderen effizienteren Wirkung der virtuellen 3D Welten als bei Film oder Büchern aus. Champion argumentiert, dass das Wahrnehmen eines abgespielten Filmes wenig kognitive Leistung erfordert, da der Benutzer durch die einzelnen Filmepisoden sequentiell geführt wird. Der Film ist eine virtuelle Form des zweidimensionalen geistigen Raumes, der nur episodische Erinnerungen hervorrruft [Champion 2005]. Innerhalb der virtuellen 3D Welt bei Spielen wird der Benutzer durch einen Avatar repräsentiert, dessen Bewegungsfreiheiten zum Großteil realer Bewegung entsprechen. Es erhöht sich dadurch die Identität des Benutzers mit dem Avatar. Die Wahrnehmung und Verarbeitung der virtuellen Umgebung erfordert dann kognitive Leistung, die bei entsprechenden Benutzerschnittstellen (Echt3D, Parallax3D, ..) der Realraum-Kognition ähnlich ist.

Die virtuelle 3D Umgebung, besonders bei „ego-shooter“ Spielen, imitiert mit ihren Eigenschaften die reale Welt derart gut, dass für Navigationsaufgaben und Orientierung im Raum wiederum Karten (meist

2D) benötigt werden. Darken hat in seiner Untersuchung [Darken et al 1999] die Notwendigkeit und optimale Ausrichtung der 2D Karten in Spielen untersucht. Dabei konnte er feststellen, dass sich die Anforderungen an Karten im interaktiven virtuellen Umfeld für Navigationsaufgaben und Wissensbildung grundlegend unterscheiden. Bei Navigationsaufgaben, die meist während der Bewegung durch den virtuellen Raum durchgeführt werden, wird die 2D Karte genordet und erlaubt so eine schnellere und leichtere Orientierung im Raum. Dieser Effekt hängt wohl mit der eigenen Identität der Fortbewegungsrichtung zusammen, die mit der Ausrichtung der Karte den Kognitionsaufwand verringert.

Für die Argumentation zur kartografischen Verwendung von 3D erscheinen die Erkenntnisse von Darken wenig hilfreich, da die besonderen Eigenschaften, vor allem die Verdeckung, die kognitive Verarbeitung erschweren oder auch verhindern. Es steht die individuelle Eindringlichkeit der virtuellen Welt dem hohen kognitiven Verarbeitungsaufwand auf Grund geometrisch negativer Eigenschaften als auch zu hoher Abstraktion (2D Grafik) gegenüber. Wenn 3D Elemente in virtuellen Welten für kartografische Aufgaben eingesetzt werden sollen, dann muss eine Lösung für hohe Immersion und geringen kognitiven Aufwand gefunden werden (vgl Abschnitt 3). Trotz Widersprüchlichkeit können vier Gründe für die Verwendung von 3D angeführt werden [Nebiker 2003]: Modellierung von Komplexität, Multi-Repräsentation, Freiheitsgrade und individuelle Ansichten. Während in 2D die Komplexität der Elemente wegen der perzeptiven Eigenschaft des Mediums stark reduziert werden muss, können in 3D komplexere Elemente veranschaulicht werden. Die Strategie zur Komplexitätsverringerung muss zwar auch hier, vor allem wegen der Wahrnehmbarkeit, angewendet werden, es stehen aber unterschiedliche Parameter zur „Verminderung“ dieser Problematik in Form von psychologischen Tiefenwahrnehmungsparametern zur Verfügung. Beispielsweise wird ein teilweise verdecktes Objekt in der kognitiven Verarbeitung ergänzt. In der semantischen Dimension benutzen „virtual reality“ Darstellungen individuelle Elemente und somit unzählige Bedeutungen der Elemente. In der 2D Abstraktion werden die Bedeutungen zu einer Signatur zusammengefasst. Die Multi-Repräsentation von 3D, d.h. die Einbindung unterschiedlicher Maßstäbe, kann gegenüber 2D, wo nur eine Maßstabsebene mit spezifischer Auflösung und Informationstiefe vorhanden ist, durchaus als Vorteil verstanden werden. Die Freiheitsgrade und Ansichtsdynamik erhöhen den Interaktivitätsgrad und haben dadurch ihre Wirkung auf die Wissensvermittlung. Sie resultieren in individuellen Ansichten, die den Wissenstransfer unterstützen können. Die Berücksichtigung der perzeptiven Eigenschaften werden dabei vorausgesetzt.

2.1.7 Problematik der Direktionalität bei der Kommunikation mit interaktiven Systemen

Die Interaktion mit Computersystemen wird oftmals von Experten nicht als Kommunikation akzeptiert, weil der Benutzer lediglich Information auf interaktive Weise extrahiert und aufnimmt. Das Computersystem hält dafür aufbereitete Mechanismen als Funktionen und Informationen bereit. Dennoch kann die Interaktion von Benutzer und Computer als Kommunikationsform eingestuft werden, wenn von der theoretischen Grundlage eines Informationssystems ausgegangen wird (7 Tupel eines Informationssystems) und die Unterscheidungen der Kommunikationsformen berücksichtigt werden.

Grundsätzlich werden Kommunikationsformen in unidirektional und bidirektional eingeteilt. Weiters wird nach Anzahl der Empfänger und Sender unterschieden. Es ergeben sich somit vier Fälle, die sämtliche Kommunikationsformen aufnehmen können [Meggle 1997]:

– Ein Sender und ein Empfänger

Der Befehl, ein Brief, E-Mail oder SMS gelten als unidirektional, da eine Antwort oder Rückmeldung nicht erforderlich ist. Das Gespräch oder Telefonat als Dialog ist in dieser Klasse ein bidirektionales Beispiel.

– Ein Sender und viele Empfänger

Als typisches Beispiel der gängigen Massenmedien gelten eine Rede, Buch, Hörfunk, Fernsehen oder client-seitige Webseiten als unidirektional. Interaktive Webseiten und Webkarten, die eine Ergänzung und Änderung des Inhaltes durch den Benutzer erlauben, bilden bidirektionale Beispiele.

– Viele Sender und ein Empfänger

In diesem Fall kann nur ein unidirektionales Beispiel angeführt werden, welches TED-Abfragen bei Fernsehsendungen umfasst.

– Viele Sender und viele Empfänger

Der Austausch von vielen Sendern und Empfängern ist bei der Diskussionsrunde, dem Usenet, Webforen, Wikipedia oder ähnlichen „blog"-Seiten ein bidirektionales Ereignis, da der Input von Sendern eine Reaktion bei Empfängern auslöst, welche dann wiederum als Sender fungieren.

Gängige technische Lösungen, besonders im Medium Internet, ermöglichen die Anwendung von umfassenden Informationssystemen, die mit Hilfe ihrer Konsumenten/Anwender dynamisch, interaktiv und „on-demand" den Inhalt erweitern. Dieser Input des anwendenden Individuums entspricht einer Update Funktion, die im theoretischen Modell für Informationssysteme vorgesehen ist.

Grundsätzlich dient ein Informationssystem der computerbasierten Datenerhebung, -speicherung, -verarbeitung, -analyse, -verbreitung, -disposition und -kommunikation von Information. Ausgehend von dieser Betrachtung sind mehr als ein Drittel der Definitionsparameter (Verbreitung, Disposition, Kommunikation) direkt in den Kommunikationsprozess involviert. Eine Datenbank bildet den grundlegenden Rahmen des kompletten Systems. Nach Panyr (1986) kann die Beschreibung eines Informationssystems mit sieben Tupeln formalisiert werden: IS = (A, W, Q, I, E, U, D). In dieser Darstellung beschreibt A die Eingabefunktion für die interne Repräsentanz, W die Repräsentanz für sich, Q die Anzahl der ermöglichten Fragen, I die Ausgabefunktionen, E die Anzahl der Ausgaben aller möglichen Ergebnisse, U eine Updatefunktion und D eine Dialogkomponente. Man erkennt zwar, dass das IS in seiner Anzahl der Ausgaben, somit Antworten, endlich begrenzt ist und auch der Fall, dass keine Antwort gefunden wird, möglich ist. Allerdings implementiert die Updatefunktion einen Wissenstransfer vom Benutzer zum System. Durch diese Lernfähigkeit des Systems wird die interne Repräsentanz und auch die Anzahl der möglichen Ergebnisse vergrößert.

In diese formalisierte Beschreibung wird die Bedeutung des Kommunikationsaspektes interpretiert. Für die pragmatische Anwendung eines Informationssystems ist sowohl das Verstehen der Dialogkomponente als auch die Wahrnehmung des Inhalts durch den Anwender grundlegend. Gleichermaßen mit denselben Voraussetzungen ermöglicht eine Updatefunktion die bidirektionale Kommunikation und somit die Anpassung von Inputfunktionen an die Bedürfnisse des Benutzers. Sobald sich ein Entwickler auf die Realisierbarkeit verschiedener Zielsetzungen und Problembearbeitung innerhalb seines IS konzentriert, werden Bedürfnisse von fokussierten Anwendergruppen und deren Verhalten zur Informationsgewinnung anstatt technischer Realisierungen berücksichtigt werden müssen.

Interaktive Informationssysteme integrieren den theoretischen Überlegungen nach wissensbasierte Komponenten mit dem Ziel eines gegenseitigen Wissensaustausches. Diese wissensbasierten Komponenten sind demnach integraler Bestandteil für Interaktionsformen, wie im Model SILK (Speech, Image, Language, Knowledge Capabilities) [Marcus et al 1991] oder aber auch für Werkzeuge zur Entwicklung von interaktiven Systemen, wie bspw. UIDE (User Interface Design Environment) [Foley et al 1988]. Die intelligente Interaktion fußt auf dem „triple agent model" nach Chignell und Card [Chignell et al 1988, Card 1989], in welchem die Trennung sowohl zwischen Problembereich und Interaktionsbereich als auch

„physischer“ und „kognitiver“ Interaktion durch die so genannte „kognitive Interaktionsmaschine“ und „Aufgabenmaschine“ erlaubt wird.

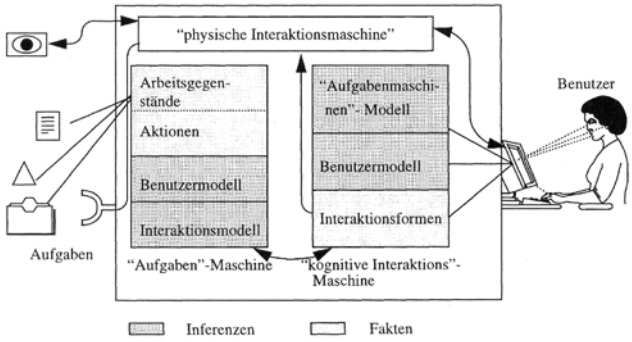


Abb. 2-6: Architektur wissensbasierter Benutzungsschnittstellen, Stary S.280.

Dabei stellt die kognitive Interaktionsmaschine mit der Aufgabe, die Benutzereingaben in Einklang mit den zu lösenden Aufgaben zu bringen, den wichtigsten Bestandteil der Schnittstelle des IS dar. Die „Aufgabenmaschine“ beinhaltet formalisierte Aufgabenbeschreibungen. Die erforderlichen Techniken, um wissensbasierte Benutzerschnittstellen schaffen zu können, umfassen die Wissens“-elicitation“ und „-acquisition“, die Wissensrepräsentation und Wissensnutzung. Die Wissens“-elicitation“ und „-acquisition“ soll das Wissen des Benutzers über das System erfassen, um so Vorhersagen über das Verhalten des Benutzers tätigen zu können [Stary 1994, S. 292]. Die Wissensrepräsentation stellt entsprechend den erfassten Daten das in der Maschine gespeicherte Wissen dar und bildet die Voraussetzung zur Verarbeitung und Nutzung dieses Inhaltes. Die Nutzung des maschinell abgebildeten Wissens erstreckt sich über die Bereiche Tutoring und Benutzermodellierung und verwendet verschiedenste Funktionen der uni- und bidirektionalen Interaktion.

Virtuelle Umgebungen, also 3D Präsentationswelten, beziehen grundsätzlich das eingebettete Wissen des Systems auf den 3D Raum und können damit die intuitive Raumwahrnehmung beim Erfasser/Benutzer unterstützen. Der hohe Interaktivitätsgrad, alleine durch die dynamische Bewegung und Änderung des Bildes, eröffnet ein direktes Feedback des Systems. Somit kann man von indirekter (scheinbarer) Bi-direktionalität sprechen. Das System antwortet mit Bildänderung indirekt auf die Bewegungsinteraktion des Benutzers. Die Wissensmenge im System wird nicht erweitert. Das Wissen des Benutzers kann aber durch neue Blickwinkel erweitert werden.

2.1.8 Zusammenfassung „Kommunikationstheorien und -modelle“

Die allgemeinen Theorien und Modelle der Kommunikation sind generell sehr breit angelegt, um die Komplexität der Kommunikation zu erfassen. Der kartografische Bereich stellt zwar eine Fokussierung auf Geo-Kommunikation dar, verwendet aber sämtliche grundlegende Kommunikationstheorien und -modelle für seine theoretische Argumentationskette. Aus den angesprochenen Theorien und Modellen verdienen einige Betrachtungen und deren Aussagen besondere Aufmerksamkeit, da damit die Erweiterung des Verständnisses von Kartografie verknüpft ist und das weitere Bemühen zur Einbettung von 3D Präsentationsformen befürwortet werden kann. Die Kernelemente des Kapitel 2.1 betreffen die Dimensionen der Kartografie im Kontext der Kommunikation, die aktuelle Paradigmenentwicklung, das zentrale Ziel der Kommunikationsentwicklung, die Ordnungsrelationen der Kommunikation, den Mediumbegriff, die Rolle der Intelligenz und das Thema der Kommunikationsdirektionalität in Informationssystemen.

Die Dimensionen der Kartografie umfassen die soziale, biologische und technische Dimension. Diese beziehen sich in dieser Reihenfolge großteils (aber nicht ausschließlich) auf den gesellschaftlich-kulturellen Einfluss, die Biologie des Benutzers (Wahrnehmung, Usability, ..) und die technischen Voraussetzungen aus der Geo-Medientechnik. Analog zu den Dimensionen können die Einflüsse auch in die semantische, pragmatische und syntaktische Ebene klassifiziert werden und beziehen sich damit auf ein gültiges Modell der Linguistik [Chandler 2002], der kartografischen Zeichensprache.

Die Erweiterung des Aufgabenbereichs der Kartografie von der Dokumentation, Visualisierung und Archivierung zur Vermittlung raumbezogener Informationen zeigt die andauernde technikgetriebene Paradigmenentwicklung in diesem Fachbereich. Die technische Dimension, und damit die syntaktische Ebene, bildet einen zentralen Motor für die Anpassung der aktuell vorherrschenden Denkmuster. Durch die Berücksichtigung der Mediencharakteristik werden direkte Einflüsse auf die Medienwirkung, vorrangig die Bildwirkung mit visuellen Medien, das Lernverhalten und Wissensbildung beobachtbar. Daraus ergeben sich immer neue Anforderungen, die menschlichen Modalitäten und Gedächtnisstrukturen zu verstehen und die entsprechende Technik gezielt einzusetzen.

Die Entwicklung der Kommunikation zeigt ebenso die Abhängigkeit von der technischen Dimension. Erst mit der Verbreitung von Massenmedien hat sich der Kommunikationsbegriff erweitert. Ungeachtet der technischen Entwicklung, damit der Kommunikationsevolution, bleibt das Evolutionsziel dasselbe: die Reduktion der Komplexität beim Kommunikationsvorgang.

Die Reduktion aufs Wesentliche in der Kommunikation führt zu den Stakeholdern des Prozesses: Kommunikator, Aussage, Medium und Rezipient. Diese stehen in gegenseitiger Beziehung und bilden damit die sechs Ordnungsrelationen der Kommunikation.

Für eine klare Abgrenzung ist der Begriff Medium weiter in Informationsträger und Informationsmittel zu differenzieren. Wenn Informationsträger als materielle und technische Medien, die für den tatsächlichen Transport der Information zuständig sind, bezeichnet werden, dann können diese im Weiteren für die Spezifikation der Informationstiefe herangezogen werden. Informationsmittel umfassen die sinnlich wahrnehmbaren Erscheinungsformen der Information und betreffen dadurch sowohl psychologische Prozesse als auch perzeptive Eigenschaften.

Die Größe Intelligenz (auf unterschiedlichen Ebenen – emotional, intellektuell, ..) im Kommunikationsprozess bildet ein Maß für die Bildung von neuem Wissen durch Kombination. Sie betrifft somit intuitive Vermittlungsmethoden, wie 3D Elemente, die durch Nachbildung der Sinnesumgebung den Abstraktionsgrad reduzieren und damit die Kombinationserfordernis und kognitive Anstrengung minimieren.

Die Dynamik interaktiver Informationssysteme, besonders mit virtuellen 3D Umgebungen, resultiert in einer scheinbaren Bi-direktionalität des Kommunikationsprozesses. Obwohl die Kamerabewegung ein direktes Ergebnis der Benutzerinteraktion ist, wird das Informationssystemwissen nicht erweitert. Erst die Erweiterung des IS mit einer Update-Funktion ergibt tatsächliche Bi-direktionalität im Kommunikationsprozess.

Der nächste Abschnitt fokussiert auf den kartografischen Kommunikationsprozess in umfassender, globaler Betrachtung, da 3D Elemente in verschiedensten Stadien des Kommunikationsprozesses eingebettet sind.

2.2 Der kartografische Kommunikationsprozess

Im Kommunikationsprozess bildet die Karte ein zentrales Artefakt, welches grundsätzlich zur Vermittlung, Dokumentation und Archivierung raumbasierter Informationen dient. Es ist ein künstlich geschaffenes Element, das grundsätzlich als Informationsträger fungiert und sich verschiedenster Informationsmittel bedient.

Im Folgenden wird eine umfassende Sicht des kartografischen Kommunikationsprozesses präsentiert, die in der Lage ist, die vielfältige Zuordnung von 3D Elementen zu unterschiedlichen Stadien zu veranschaulichen. Erst die präzise Abgrenzung und Rolle von 3D Elementen für die tatsächliche Informationsübertragung zum Benutzer erklärt den Handlungsbedarf bei der Informationspräsentation und die Bedeutung des Informationsmodells. Ergänzend werden sämtliche Wissenschaftsbereiche von Kartografie und GIScience dem Kommunikationskreislauf zugeordnet. So können die Kompetenzen der diversen Fachbereiche und ihre Schnittstelle im Kommunikationsprozess für direkte Kooperationen aufgezeigt werden. Vergleichend mit dem vom Autor aufgestellten Modell und der Denkweise, sollen bekannte Modelle und Betrachtungsweisen aus der kartografischen Kommunikation angeführt und mögliche Problemfelder mit 3D Elementen aufgezeigt werden. Dadurch kann die Bedeutung von 3D in der modernen Kartografie hervorgehoben werden.

2.2.1 Kreislauf der kartografischen Kommunikation

Basierend auf den Grundlagen der allgemeinen Kommunikationstheorie kann die kartografische Kommunikation als Kreislauf dargestellt werden, da es sich grundsätzlich um Massenkommunikation handelt und auch Rückwirkungen auf Kartenherstellung und -inhalt über die Gesellschaft beobachtbar sind [Mikos et al 2005].

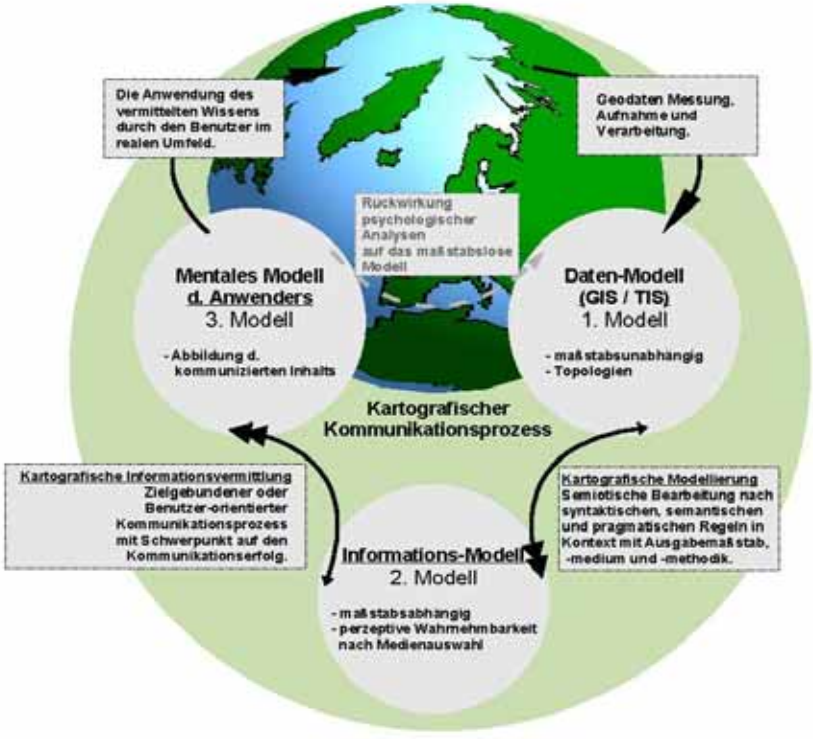


Abb. 2-7: Genereller Kreislauf der kartografischen Kommunikation.

Das zentrale Kommunikationselement, die Karte als Informationsträger und auch Informationsmittel (bei digitalen Übertragungsmethoden stellt z.B. der Bildschirm den Informationsträger dar), benötigt unterschiedliche Aufnahme-, Modellierungs-, Analyse- , Herstellungs- und Wirkungsvorgänge. Somit bildet sich ein grundlegend verketteter Prozess von der Datenaufnahme über die Informationsaufbereitung bis zu den Auswirkungen des Artefakts auf den/die Rezipienten, der in seinen Teilbereichen (den einzelnen Modellstufen) durchaus auch bi-direktional bezeichnet werden kann. Abhängig von der Gewichtung der Rezipienten entstehen Auswirkungen in der realen Welt, welche die Aufnahme, Verarbeitung, die kartografische Informationsaufbereitung, -vermittlung und die Einbettung der aufgenommenen Information beeinflussen. Die Gewichtung der Rezipienten kann als Wirkungsfaktor des „Benutzers“ auf die Gesellschaft bezeichnet werden. Wird beispielsweise das Wissen eines Landschaftsplaners durch eine kartografische Präsentation erweitert und geprägt, hat dieser Umstand zu einem hohen Maß Auswirkungen auf dessen umsetzende Tätigkeit. Die veränderte Landschaft bildet dann wieder eine Grundlage der Geländeaufnahme und kartografischen Verarbeitung. Ebenso formen kartografische Verlage den Inhalt ihrer Produkte möglichst attraktiv für ihre Kunden. Die gesellschaftliche Akzeptanz spielt also eine wichtige Rolle für den Verkauf. Dieser Wirkungskreis schließt sich mit der Einwirkung der Produkte auf die gesellschaftliche Bildung und das ästhetische Empfinden.

Generell folgt die Darstellung der kartografischen Kommunikationsfolge einem handlungsbasierten Ansatz [Dransch 2002]. Die Struktur orientiert sich an den nötigen Handlungen, die von der Datenakquisition über das kartografische Produkt zu einem mentalen Modell beim Benutzer führen. Dabei werden sämtliche Interessenspositionen / Standpunkte durchlaufen, die von Akquisitor und Analysten über Medientechniker bis zum Nutzer und Planer reichen. Alle Standpunkte/Ansichten (viewpoints) liefern unterschiedliche Argumentationen für die Form des Kommunikationsprozesses. Sie sind aber aller Diversität zum Trotz im gemeinsamen Element der „kartografischen Handlung“ mit dem Ziel der Wissensvermittlung vereint. Beispielsweise können bei geeigneter Modellbildung aussagekräftige Analysen durchgeführt werden. Deren grafische Aufbereitung auf geeigneten Medien ist für die Wissensvermittlung unumgänglich. Gleichermaßen ist die grafische bzw. multimediale Aufbereitung von Informationen auf geeignete Datenstrukturen/-modelle im verwendeten System angewiesen. Besonders die kombinierte Verwendung komplexer Geodaten und Projektionsräume funktioniert nur mit effizient modellierten und normierten Schnittstellen für so genannte „Services“ (Services wird hier auf MapServices, MapFeatureServices oder MapPerspectiveServices, … bezogen, deren globale Einsetzbarkeit auf komplexen Schnittstellenbeschreibungen basiert).

Es ist naheliegend, den Handlungskreislauf der kartografischen Kommunikation, zahlreichen Diskussionen von Kolacny, Board, Buzin, Peterson und Brodersen [Kolacny 1970, Board 1978, Buzin 2001, Peterson 1995, Brodersen 2007] folgend, in drei Modellstufen zu zerlegen. Die drei Stufen bezeichnen das Primärmodell oder Datenmodell, das Sekundärmodell oder Informationsmodell und das Tertiärmodell oder Mentales Modell und bieten charakteristische Eigenschaften.

Das *Primärmodell oder Datenmodell* umfasst sämtliche erfassbaren Daten in ihrer geeigneten, weiterverarbeitbaren Struktur. Diese Strukturierung erfolgt einerseits bei der Datenaufnahme, wenn beispielsweise bei einer Passantenzählung bereits Klassifizierungen durchgeführt werden oder ein Vermesser Aufnahmepunkte mit Objektcodes versieht. Hierbei kann durchaus schon eine Zielnutzung/Aufgabe festgelegt worden sein, die beispielsweise eine notwendige Messgenauigkeit definiert. Andererseits wird es notwendig, die erfassten Daten für eine geplante Analyse oder Verarbeitung verbessert zu strukturieren/modellieren. Hierbei sollen geeignete Relationen nachgebildet und die Repräsentations- und Analyseeffizienz des Verwaltungssystems gesteigert werden. Die bedeutensten Focii der Datenmodellierung sind Topologie, objektrelationale und semantische Modelle, Hierarchische Modelle oder generell die Vermei-

dung von Redundanz. Diese werden in eigenen Modellbeschreibungen, so genannten Ontologien, festgehalten. Die bedeutende Eigenschaft des Datenmodells aus kartografischer Sicht ist die Maßstabsunabhängigkeit. Obwohl „Maßstäbe“, oder besser: Skalierungen, entsprechend der Datengenauigkeit (Messgenauigkeit) wegen gegenseitiger Analyse und Kombination zumindest in den Metadaten berücksichtigt werden müssen, spricht man hier von Maßstabsunabhängigkeit: die restriktiven Medieneigenschaften und perzeptiven Anforderungen werden generell nicht berücksichtigt. Es entstehen somit auch keine immanenten Eigenschaften in den Daten. Sämtliche Systeme der Datenverwaltung und -analyse mit ihrer computerbasierten Verarbeitung, wie Geografische Informationssysteme (GIS), Topografische Informationssysteme (TIS) oder Landschaftsinformationssysteme (LIS), können dieser Modellstufe zugeordnet werden. Erst die intensive Nutzung der Computerverarbeitung im Kommunikationsprozess und damit die Ausweitung der Handlungen/ Anwendungen/ Analysen machen das Datenmodell als eigene Modellstufe erkennbar.

Das *Sekundärmodell oder Informationsmodell* berücksichtigt sowohl die Eigenschaften der Informationsträger und Informationsmittel als auch die perzeptive Wahrnehmbarkeit und geplante Wirkung beim Menschen. Die Informationen in diesem Modell sind maßstabsabhängig und direkt für eine Vermittlung verwendbar. Die Maßstabsabhängigkeit der Information basiert auf dem Auflösungsverhalten des Übertragungsmediums, welches die Mindestgrößen, den Farbumfang, Formen, Gradienten und die Informationstiefe, also die Komplexität des Inhaltes, hinsichtlich des Kommunikationszieles beeinflusst. Deshalb ist die Information von immanenten Eigenschaften behaftet, die die Objektmaßstäblichkeit, unmaßstäbliche Symboldarstellung und visuelle Konfliktlösung (bei Überdeckung, Selektion und Aggregation) betreffen. Objekte werden größer als der vorliegende Maßstab dargestellt, um die perzeptive Schwelle zu erreichen. Ebenso folgen Symboldarstellungen diesem Reglement. Visuelle Konfliktlösungen sichern entweder die elementweise Informationsaufnahme, wenn wichtige Elemente verschoben werden, oder ermöglichen die semantische Informationserfassung, wenn Elemente für die Wahrnehmbarkeit selektiert oder zusammengefasst werden. Die Rückführung vom Informationsmodell in das Datenmodell ist nur mit erheblichem Genauigkeitsverlust der „Daten“ möglich. Rückgeführte Daten aus einem Informationsmodell besitzen in ihren Metadaten die Genauigkeit des Informationsmodell-Maßstabs als beste geometrische Genauigkeit und bleiben mit den immanenten Eigenschaften des Informationsmodells behaftet. Sinnervoller ist es, die Vorgänge der kartografischen Modellierung, also die Transformation vom Datenmodell zum Informationsmodell, formal zu dokumentieren, um eine Umkehrung zu ermöglichen. Bis heute ist eine vollständige Formalisierung dieser Transformation nicht möglich, da die Vorbereitung und Kombination der Vermittlungsebenen mit ihren geometrischen, semantischen und zeitlichen Ausprägungen zu nicht modellierbaren Komplexitäten führen können. Somit erfolgt die Transformation von Datenmodell zu Informationsmodell mit den Gestaltungsvariablen einerseits nach den Eigenschaften der Informationsträger und den perzeptiven Parametern, andererseits nach der geplanten Wirkung des Kommunikationszieles beim Nutzer.

Das *Tertiärmodell oder mentale Modell* stellt das Ergebnis der Informationsvermittlung beim Rezipienten dar. Es umfasst die individuell gefilterte Abbildung des kommunizierten Inhaltes, welche dem individuellen Wissen hinzugefügt oder zumindest kurzzeitig für eine Aufgabenbewältigung verwendet wird. Die individuelle Filterung der Information ist Teil der menschlichen Informationsverarbeitung, die das vorhandene Wissensgebäude des Rezipienten für den Auf- und Ausbau der individuellen Organisationsstrukturen, des Gedächtnisses und Wissens verwendet [Neisser 1996]. Generell entsprechen weder die Strukturen des Datenmodells noch des Informationsmodells den individuellen Organisationsstrukturen. Eine Annäherung von den Daten- und Informationsmodellstrukturen an die Organisationsstrukturen des Rezipienten hilft der leichteren Verständlichkeit und dient unter anderem der effizienteren Aufnahme der Information [Zimbardo et al 2003]. Die Transformation vom Informationsmodell zum mentalen Mo-

dell, also der tatsächliche Vermittlungsprozess, erfolgt mittels verfügbarer Übertragungsmedien und verwendet eine syntaktische, semantische und pragmatische Ebene, welche sich großteils in den kommunikationstheoretischen Dimensionen wiederfinden. Die syntaktische Ebene ist Teil der technischen Dimension, die auf die Leistungsfähigkeit des Übertragungsmediums Rücksicht nimmt und die „Grammatik" für die Gestaltungsvariablen formuliert. Die semantische Ebene zeigt sich als Teil der sozialen Dimension, die das Verständnis der Informationskodierung beschreibt. Sie steht mit der natürlichen/gegebenen Bedeutung der dargebrachten Informationen/(kartografischen) Elemente und der Deutung dieser Elemente im Kontext mit dem kulturellen Verstehen. Beispielsweise wird ein Piktogramm eines Eisfischers im Kulturraum Nordafrika auf Unverständnis stoßen. Die pragmatische Ebene als Teil der biologischen Dimension nimmt sowohl Rücksicht auf die physiologischen und psychologischen Eigenschaften des Menschen als auch auf die Brauchbarkeit der Information in einer bestimmten Situation. Beispielsweise wird bei einem Gebirgsausflug auf den Mont Blanc eine Stadtkarte von Wien nicht brauchbar sein, oder sehbehinderte Rezipienten haben wenig Verwendung für die grafische Ausgabe einer Karte. Somit fokussiert die Rolle des Kartografen bei der Informationsvermittlung auf einen zielgebundenen und benutzerorientierten Kommunikationsprozess mit dem Schwerpunkt des Kommunikationserfolges. Die technischen Leistungen des Übertragungsmediums und die physiologischen Wirkungen der Informationsmittel dienen als zentrale Werkzeuge, um eine geplante Aussage verständlich zu übertragen.

Der kartografische Kommunikationskreislauf schließt sich in der realen Welt, in der Auswirkungen durch die kartografische Wissensvermittlung beobachtbar werden und so wieder in den Kreislauf eintreten. Gleichermaßen können die Auswirkungsbeobachtungen in der realen Welt übergangen und direkt das mentale Modell des Rezipienten untersucht/erforscht werden [Bortz et al 2006]. Damit wird eine Grundlage für die Modellierung der Daten und auch der Informationen erarbeitet, die im Weiteren die Übertragungsleistung für den Rezipienten unterstützt, d.h. durch die Annäherung an die Organisationsstrukturen des Rezipienten wird die Vermittlung erleichtert und die Informationsintegration im Gedächtnis unterstützt, solange die Ebenen des Vermittlungsprozesses berücksichtigt werden.

Dieser dargestellte kartografische Kommunikationskreislauf beschreibt eine umfassende Sichtweise der Geo-Kommunikation. Darin können die Modelle der kartografischen Vermittlung, der Geo-Topologie oder Kognitionswissenschaften eingebettet werden. Der Autor erachtet diese umfassende Darstellung als grundlegend, da das Wirken des Massenmediums Karte nur in einer ganzheitlichen Sicht beurteilt werden kann, gegenseitige Kompetenzen betroffener Fachbereiche erkennbar werden und die divergente Zuordnung von 3D Elementen mit ihren unterschiedlichen Definitionen Missverständnisse und Verwechslungen vermeiden hilft.

2.2.2 Zuordnung von 3D Elementen im kartografischen Kommunikationskreislauf

Die Verwendung von 3D Elementen ist vielfältig und dient verschiedensten Aufgabenlösungen. Diese können der umfassenden Darstellung der kartografischen Kommunikation zugeordnet werden, um eine gegenseitige Abgrenzung zu erleichtern.

Im Datenmodell bieten Informationssysteme umfassende Werkzeuge für die Analyse. So stellt darin die dritte und vierte (zeitliche) Dimension eine sinnvolle Ergänzung dar, um die Analysenvielfalt zu erweitern [Coors et al 2004]. Beispielsweise verwenden virtuelle Überschwemmungsszenarien 3D Modelle der Erdoberfläche und von Städten, um die Ausbreitung der Wassermassen zu berechnen, analysieren und im Weiteren darzustellen. Für Funkwellen-Ausbreitungsmodelle werden 3D Stadtmodelle effizient eingesetzt, um die Positionierung von Sendemasten kostengünstig zu planen und weiträumig zu verwalten. Die Modellierung der 3D Daten bringt neue Herausforderungen mit sich. Einerseits liefern 3D Rastermodelle, so genannte Voxelmodelle, keine Topologie zwischen gleich-klassifizierten Elementen und verursa-

chen bei umfassenden Analysen, die viele Details beinhalten, hohe Rechnerleistung. Andererseits stoßen Anwendungen der Euklidischen Geometrie und Topologie im komplexen geografischen 3D Raum und dessen Metrik immer wieder auf Probleme, obwohl aus mathematischer Sicht die analytische Geometrie und Euklidische Metrik klar definiert sind [Hatcher 2002, Camps et al 2006]. Die Berechnung von 3D Daten für eine Visualisierung in der Computergrafik bringt weitere Bezeichnungen, wie 3D Modell, 3D Szene, virtuelle Umgebung, mit sich, die im Datenmodell angesiedelt werden können, solange die Eigenschaften des Präsentations-/Übertragungsmediums nicht berücksichtigt werden. Für das Rendering (Berechnung) eines Bildes wird das 3D Modell mit Textur, Licht und Kamerabeschreibung versehen. Erst damit kann die Abbildung berechnet werden. Die Beschreibung der 3D Szene ist also ein „Vor-"Modell des letztlich Sichtbaren. In diesem virtuellen Raum der 3D Szene können grundsätzlich Berechnungen der Grafikkarte direkt angebracht und Adaptierungen für ein Übertragungsmedium vorausschauend berücksichtigt werden.

Im Informationsmodell steht das Übertragungsmedium im Zentrum der Handlungen. Für den Bereich 3D in der Kartografie haben sich Definitionen der kartenverwandten Darstellungen und Reliefmodelle etabliert. Mit den digitalen Vermittlungsmethoden überwindet man deren statischen Darstellungscharakter und kann auf das psychische Modell des Rezipienten tiefer eingehen. Begriffe wie 3D Grafik, 3D Visualisierung oder 3D Karte werden diesem Modell zugeordnet, wobei immer die Eigenschaft des Übertragungsmediums und Informationsmittels für die Darstellung berücksichtigt werden muss, da massive Nachteile bei der Informationsübertragung auf Grund der Charakteristik von 3D Elementen (z.B.: Perspektive) entstehen. In vielen Fällen wird das grafische Bild der 3D Daten auf einem ebenen Medium wiedergegeben und resultiert damit vielfach in verwirrenden Pseudo-3D Darstellungen [Schattschneider et al 2003]. Beispielsweise kann ein Kreis wegen der perspektiven Verzerrung nicht mehr als solcher identifiziert und verglichen werden. Stattdessen beinhaltet die Darstellung Kreise und Ellipsen, obwohl es sich um idente Elemente handelt. Zusätzlich beeinflussen die psychologischen Tiefenwahrnehmungsparameter die Wahrnehmung [Schattschneider et al 2003].

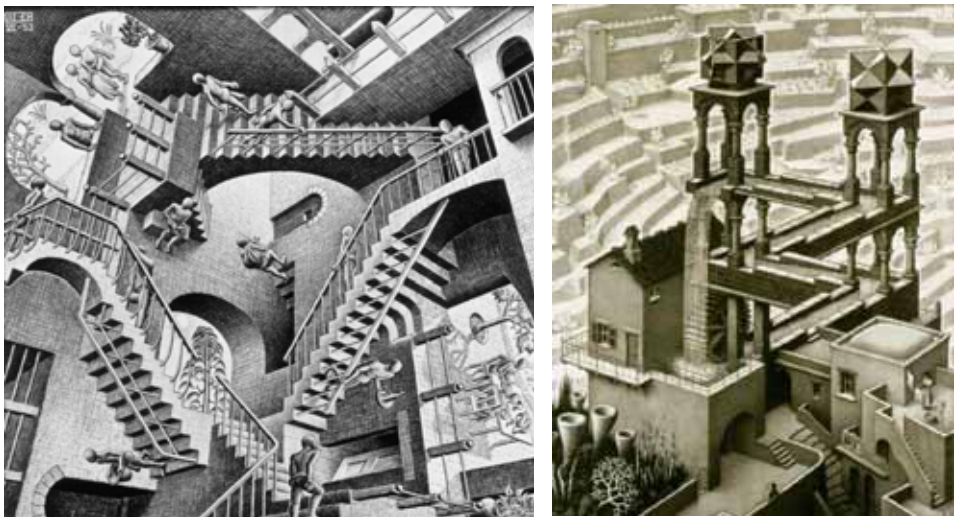


Abb. 2-8a, 2-8b: Escher's Relativity 1953, Escher's Waterfall 1961; Schrattschneider 2003.

3D Elemente umfassen neben topografischen/geo-räumlichen Elementen auch Diagramme und Kartogramme, deren Einsatz in 3D nur wegen besserer Lesbarkeit der komplexen Information erfolgen soll. Der alleinige 3D Effekt mit unleserlichem Grund- als auch Aufriss bringt keinen Informationsgewinn bei der Vermittlung und kann daher in Frage gestellt werden. Als Vorteil von 3D Elementen im Informationsmodell kann die direkte/intuitive Zuordnung der vertikalen Dimension zum Grundriss gesehen wer-

den, solange diese Information auch perzeptiv zugeordnet werden kann. Die intuitive Zuordnung erfordert aber auch entsprechende Übertragungsmedien, die mit ihrer kompletten Unterstützung der Tiefenwahrnehmungsparameter Echt-3D Präsentationen (vgl. Abschnitt 3) ermöglichen. Beispiele für diese Übertragungsmedien sind Hologramme, Light Emitting Volumes, Cybersphere oder die virtuelle Netzhaut Anzeige (VNA – virtual retinal display). Werden von dem Übertragungsmedium alle psychologischen und nur einige ausgewählte physiologische Parameter, wie Autostereoskopie, unterstützt, dann können diese in Parallax-3D Präsentationen klassifiziert werden [Albertz 1997, Buchroithner 2002]. Beispiele dafür sind Lentikulardisplays, Shutter-Brillen oder Chromostereoskopie. Den Eigenschaften des Übertragungsmediums (entweder von der Klasse Pseudo-3D, Parallax-3D oder Echt-3D) folgend, werden die Informationsmittel der digitalen 3D Karte mit ihren grafischen und multimedialen Variablen angepasst und für das Kommunikationsziel modifiziert. Beispielsweise zeigt das nicht-fotorealistische Rendering bei 3D Stadtmodellen [Döllner 2000, Nienhaus 2005] eine gute Möglichkeit, die grafischen Variablen der Informationsmittel an das Übertragungsmedium anzupassen.

Abb. 2-9: Nicht-fotorealistisches Rendering eines 3D Stadtmodells, Nienhaus 2005.

Im mentalen Modell der Rezipienten nimmt 3D einen besonderen Status ein. Die Umgebung, in der sich unsere kognitiven Eigenschaften entwickeln, ist von der dritten Dimension geprägt. Menschliche Rezipienten können sich dieser Dreidimensionalität nicht entziehen, da seit Beginn der Hirnaktivität der 3D Raum die Grundlage des Lernens, Verarbeitens und Speicherns bildet [Piaget 2003]. Zusätzlich wird die Bewegung im Raum durch die Sinnesorgane in drei Koordinatenebenen erfasst. Somit bietet das allgemeine mentale Modell eine fruchtbare Grundlage für den Einsatz von 3D Elementen in der Kartografie, wenn eine verständliche Vermittlung beabsichtigt wird. Mit fortschreitender Entwicklung der räumlichen Verarbeitung und Aneignung von individuellen Erfahrungen, also individuellen Episoden, verändert sich das generelle Bild des Raumes. Die rezipienteneigene Abbildung der Umgebung und die Erfahrungen/Erlebnisse werden immer wieder ergänzt und verbessert. Damit entsteht ein Filter für die weitere Informationsintegration. Demnach spezialisieren sich Rezipienten individuell mit der Anhäufung ihrer Erfahrungen. Beispielsweise können Kinder ab ca. 5 Jahren, nach dem ersten Teil der präoperatorischen Phase, das Konzept der Mengenerhaltung erlernen, wonach eine gleich bleibende Flüssigkeitsmenge in verschieden dicken Glaszylindern untergebracht sind. Die Kinder sollen dann die Frage nach gleich bleibender Flüssigkeit beantworten können [Piaget 2003].

Dieser Abschnitt konnte zeigen, dass 3D in jeder Stufe des kartografischen Kommunikationskreislaufs, sowohl beim Datenmodell, Informationsmodell als auch dem mentalen Modell, seine Bedeutung hat. Das Verständnis von 3D ist in jedem Bereich unterschiedlich: 3D im mentalen Modell des Rezipienten ist von dessen „Filterung“ geprägt und wird mit bekannten Organisationsstrukturen zum Gedächtnis addiert. 3D Elemente des Informationsmodells werden für eine klare Vermittlung und den „Informationsgewinn“

beim Rezipienten an das Übertragungsmedium angepasst. 3D im Datenmodell bringt Datenmodelle näher an die Realstrukturen im Raum und erweitert die Analysetechniken.

Entsprechend dieser klaren Einteilung können auch alle Wissenschaftsbereiche der Kartografie und GIScience dem Kreislauf zugeordnet werden, womit eine mögliche Forschungsagenda definiert und die exakte Positionierung dieser Arbeit ermöglicht wird.

2.2.3 Zugeordnete Wissenschaftsbereiche

Die gegenwärtigen Forschungsthemen der Kartografie und GIScience umfassen die Analyse, Modellierung, Geo-Medientechnik sowie Kommunikation von raumbezogenen Informationen und reichen bis zur Wirksamkeitsmodellierung kartografischer Semiotik im gesellschaftlichen Umfeld [Meng et al 2005, Denil M. 2003, Virrantaus K. 2005]. Die spezifischen Forschungsfoci sind dem kartografischen Kommunikationskreislauf, welcher von der Modellierung nach der ersten Datenaufnahme über die maßstabsabhängige kartografische Modellierung bis zum mentalen Modell des Benutzers und dessen Auswirkungen reicht, angelehnt.

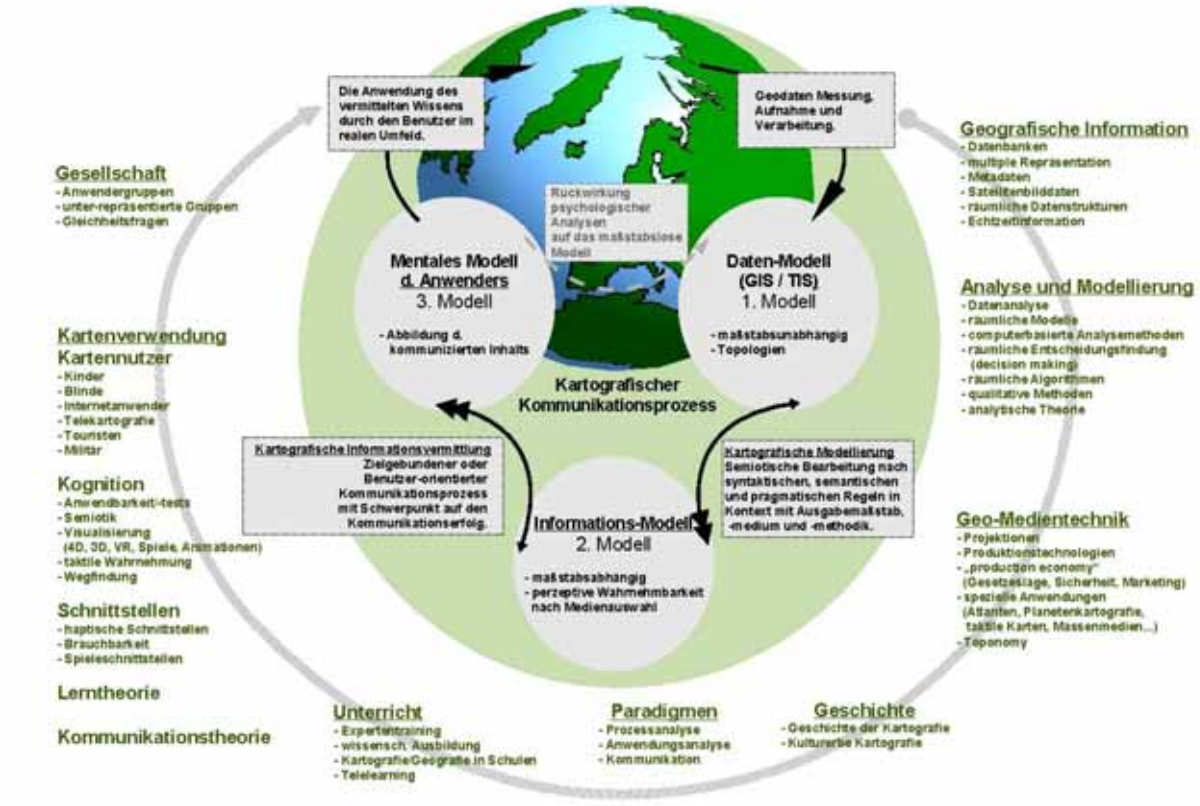


Abb. 2-10: Kommunikationskreislauf mit Wissenschaftsbereichen, basierend auf Brodersen 2001, MacEachren 1995, ICA 2003.

Sämtliche Foci der Geoinformatik, Analyse und Modellierung konzentrieren sich auf den Bereich des Datenmodells, wobei Erkenntnisse auch aus dem mentalen Modell des Rezipienten gewonnen werden und Ergebnisse bis in die Geo-Medientechnik einfließen.

Die kartografischen Forschungsschwerpunkte betreffen insbesondere die Bereiche der Geo-Medientechnik (die semiotische Modellierung nach syntaktischen, semantischen und pragmatischen

Ebenen im Kontext mit Ausgabemaßstab und -medium), Kartennutzung, Lerntheorie, Kommunikationstheorie und benutzer- und anwendungsbezogene Wirkungsforschung mit dem Ziel, eine perzeptiv erfassbare, verständliche und wirkungsvolle Vermittlung des spezifischen raumbezogenen Inhalts auf unterschiedlichen Medien, Sinnesmodi und Benutzerschnittstellen zu ermitteln [Cartwright et al 1999, Taylor 2005]. Hierbei werden sowohl formalwissenschaftliche, kommunikationswissenschaftliche als auch integrative Methoden angewandt.

Formalwissenschaftliche Methoden können vorwiegend in der Geo-Medientechnik und Untersuchung neuartiger Mensch-Computer Schnittstellen gefunden werden. Hierbei ist die Formalisierung semiotischer Vorschriften/Generalisierungsmaßnahmen [z.B.: Sester M., Universität Hannover] und Einbindung neuartiger Schnittstellen [z.B.: Buchroithner M., TU Dresden] besonders hervorzuheben.

Kommunikationswissenschaftliche Methoden finden sich im zielgebundenen oder benutzerorientierten Kommunikationsprozess der kartografischen Informationsvermittlung zur Untersuchung aller Einflussfaktoren für den Kommunikationserfolg, der Anwendbarkeitsforschung und der (psychologischen) Wirkungsanalyse [Foscht 1998, Kroeber Riehl et al 2000, Steffenhagen 2001]. Ergebnisse dieser Untersuchungen bilden im Weiteren Grundlagen für semiotische Formalisierungen und kartografische Modellierungsvorschriften des primären Modells [Buziek et al 2000, MacEachren and Taylor 1994, Rød J. K. 2004].

Die direkte Verbundenheit der kartografischen Forschung und ihrer Resultate zu unterschiedlichen Forschungsdisziplinen und Anwendergruppen zeigt den integrativwissenschaftlichen Bezug auf. Diese interkulturelle, multiperspektive und multidisziplinäre Orientierung der Kartografie resultiert in einem breiten Spektrum von multidisziplinären Forschungsvorhaben und der Bildung strategischer Partnerschaften auf Grund der fundierten Expertise kommunikativer Informationsvermittlung mit räumlichem Bezug [AIS, CANE, EPOCH, ECAI].

Die Untersuchung der soziologischen Veränderungen auf Grund der Massenkommunikation mit modernen Karten, die Kartenverwendung an sich und die kognitive Verarbeitung der kartografischen Inhalte bewegen sich im Bereich des mentalen Modells. Forschungsbereiche bilden beispielsweise die Klassifizierung und Modellierung von Anwendergruppen, Gleichheitsfragen, Kartennutzer-Topologien, Usability-Studien oder militärische Bereiche mit kognitionsorientiertem Schwerpunkt.

Die vorliegende Arbeit zu den semiotischen Modellen bei der Nutzung von 3D für die Kartografie sieht ihren Schwerpunkt in der kartografischen Kommunikation und der Geo-Medientechnik im Speziellen. Die Anstrengungen wurden bis zu diesem Zeitpunkt mit Argumenten der Kommunikationstheorie hinterlegt und sollen nun bestehende Betrachtungen existierender Modellbildungen der Kartografie mit einbinden.

2.2.4 Kartografische Modellbildungen

Die Modellierung der kartografischen Prozesse unter technischen Gesichtspunkten (Kartenherstellung), von den Daten bis zur Kartenherstellung, wird ab der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts um den Kommunikationsaspekt erweitert [Robinson 1952, Board 1967, Kolácny 1969]. Die grafische Darstellung dieser Modelle ist im Detail oft verschieden, zeigt im Generellen aber immer eine Basisstruktur, die von der Datenakquisition eines Kartografen ausgeht, welcher den Inhalt bestimmt und die Weise wie dieser darzustellen ist. Zentral steht die Karte als Träger der Information, die der Nutzer liest und mit Einbeziehung von vorhandenem Wissen neue Erkenntnis/ Verständnis generiert. In dieser vereinfachten Struktur wird der komplexe Fachbereich der GIScience in einer Person zusammengefasst und als Kartograf bezeichnet,

deren Kompetenzen von der Datenaufbereitung, -modellierung über die Geo-Medientechnik bis zur Kommunikation reichen sollen.

Allerdings ermöglicht dieser Rahmen eine objektive Beurteilung der Karteneffizienz, wenn die Mechanismen im Modell verstanden werden. Wenn also angenommen wird, dass der Inhalt einer Karte einem Zweck folgt, dann ist die Untersuchung der visuellen Vermittlungsmethoden des Inhaltes mindestens gleich bedeutend mit dem Kartenentwurf [Robinson 1952, S. 15]. Robinson legt mit diesem Kommentar einen vordefinierten Zweck (Handlungsziel) der Karte und das Ziel, den Inhalt zu kommunizieren, fest, auf welchen im Vermittlungsprozess von Konácny [Kolácny 1969] intensiv eingegangen wurde. Das wissenschaftliche Paradigma des Kommunikationsaspektes [Robinson 1952, S. 17] konzentriert sich somit auf die Verbreitung von räumlichem Wissen. Das Wissen, welches in der Realität existiert und zu welchem der „Kartograf" Zugang hat, soll mit der Karte verbreitet und nicht von Analytikern, die selbst Kartennutzer sind, konstruiert werden [MacEachren 1995, S. 4]. Diese Trennung von „Analytikern" und „Wissens-Verbreitern" deutet auf die unterschiedlichen Kompetenzbereiche der GIScience hin, die z.B. im Bereich Datenmodellierung und -analyse mit der Kombination ursprünglicher Daten durchaus „neue Daten" (Erkenntnisse) aus dem Realraum gewinnen können und damit die Vielfalt von verfügbaren Daten erweitern. Die Kompetenz für bestimmte Eigenschaften eines Übertragungsmediums aus einer Unmenge von Daten „die Wichtigen" gemäß den Gestaltungsvariablen aufzubereiten, stellt eine weitere Kompetenz, die des Geo-Medientechnikers, dar. Die Kombination, Konsolidierung und Vermittlung der Information und die Verwendung der Informationsmittel kann als weitere Kompetenz eines Geo-Kommunikationsdesigners gesehen werden. Das Zusammenspiel aller Kompetenzen im Informationsmodell subsummiert sich in der Filterung und Aufbereitung von Daten und Informationen. Die Filterung im Informationsmodell, sowohl bei der Transformation vom Datenmodell als auch bei der Vorbereitung für die Kommunikation, durch den Kartografen umfasst seine Ziele, Erfahrungswerte, Möglichkeiten, externe Überlegungen, Kundenbedürfnisse und Abstraktionsvorgänge zum Erhalt der Wahrnehmbarkeit. Die Transformation vom Informationsmodell zum mentalen Modell beinhaltet die Filterung durch den Rezipienten, die durch dessen perzeptive und räumliche Fähigkeiten, etwaigem Vorwissen, Verständnis der Symbolik und Intellekt geprägt ist. Der Kommunikationserfolg, also die Schaffung eines möglichst identischen Abbildes der Realität [vgl. Abb. 2-11: Kommunikationserfolg nach Gartner], hängt von den durchgeführten Filterungen ab.

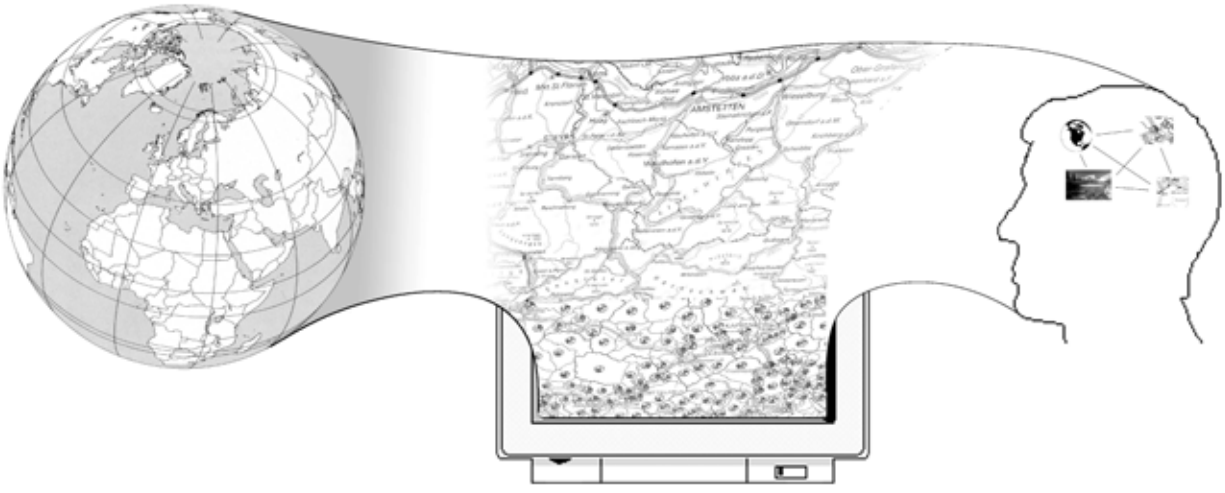


Abb. 2-11: Kommunikationserfolg nach Gartner.

Folgt man MacEachren und handhabt Kartografie als formales Kommunikationssystem, dann kann der Kommunikationserfolg mit der Karte verbessert werden, wenn die Filterung reduziert und somit der „Informationsverlust“ (-veränderung) an bestimmten Punkten im System verringert wird [MacEachren 1995, S. 5 ff]. Allerdings spricht MacEachren für die formalisierte Kommunikationsverbesserung drei Widersprüche an: (1) Experimentelle Herangehensweisen, um Karten als Informationsträger zu evaluieren, sind nutzlos. (2) Die Bedeutung und Auswirkung der Karte als Kunstform führt bei der Formalisierung zu keinem positiven Ergebnis und soll daher außer Acht gelassen werden. (3) Philosophische Einstellungen erkennen das Konzept der Karte nicht als objektive Repräsentanz der Realität an und zweifeln auf Grund dessen, dass objektive Forschung möglich ist.

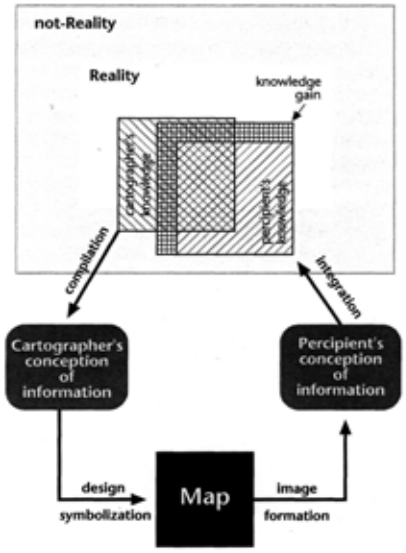


Abb. 2-12: Kartografische Kommunikation nach MacEachren 1979.

MacEachren gibt mit seiner Sicht der Kommunikationsverbesserung ein wichtiges Argument für die Benutzung von 3D in der digitalen Kartografie. Die Analogien der realen und virtuellen Welt können bei entsprechenden Übertragungsmedien und perzeptiv-semiotischen Voraussetzugen das Verständnis und die Vermittlung der 3D Information verbessern, da Filterungen, die in 2D wegen der Codierung der dritten Dimension durchgeführt werden müssen, in (Echt-)3D nicht auftreten. Kirschenbauer zeigt die Verständnisverbesserung mit ihrer Untersuchung von Echt-3D Karten [Kirschenbauer 2004]. Konkret wird bei Kirschenbauer die echt-dreidimensionale Darstellung einer topografischen Hochgebirgskarte einer empirischen Analyse mit verschieden kartografisch-gebildeten Nutzergruppen unterzogen. Dabei muss einerseits das Übertragungsmedium den räumlichen Analogien entsprechend sämtliche Tiefenwahrnehmungsparameter unterstützen, andererseits gilt die Voraussetzung, dass für den Rezipienten die Information eindeutig wahrnehmbar aufbereitet ist. Widersprüche in der Informationsaufbereitung, wenn vor allem die Eigenschaften des Übertragungsmediums nicht hinreichend berücksichtigt werden, führen zu Missinterpretationen und zu falschen Kommunikationsergebnissen. In diesen Fällen kann man davon ausgehen, dass Untersuchungen der kognitiven Verarbeitung, der Kartennutzung oder des mentalen Modells generell auch zu falschen Ergebnissen führen.

Im räumlichen Modell der Kartennutzung wird versucht, die Kartografie als kubischen Raum darzustellen, wobei Visualisierung und Kommunikation die gegenseitigen Pole einnehmen [MacEachren 1995]. Für MacEachren ist es wichtig, die Verbindung von wissenschaftlicher Visualisierung mit der Kartografie aufzuzeigen und nicht auf die Kartenherstellung einzugehen. Der kubische Raum wird mit drei „Kartennutzungs-“ Achsen definiert, wobei eine Achse von „privat“ bis „öffentlich“, die Nächste von „Aufdecken

des Unbekannten“ bis „Bekanntes präsentieren“ und die Dritte von „intensiver Interaktion“ bis „schwacher Interaktion“ reicht. In diesem Konstrukt erscheint die Bezeichnung des Poles Visualisierung unglücklich, da laut Kommunikationstheorie die Visualisierung ein Teil der Kommunikation ist. Nach den angebrachten Bezeichnungen der Kubus-Achsen ist die Bezeichnung Exploration für diesen Pol nahe liegender. Dann passt eine 3D-Karte auch in dieses Konzept der Kartennutzung, da die hohe Interaktivität der individuellen Kameraführung in der multimedialen 3D Präsentation und die visuellen Eigenschaften von 3D ein hohes Maß an Rezipienten-Exploration hervorrufen.

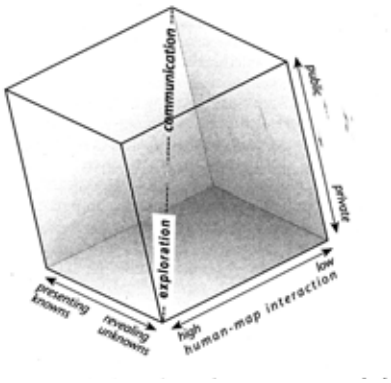


Abb. 2-13: von Jobst modifizierter Würfel basierend auf MacEachren 1995.

Das Modell der kartografischen Informationsvermittlung von Kolácny [Kolácny 1969] geht von einem umfassenden Universum als Basis für das Teilwissen der Individuuen aus. Das umfassende Universum des Wissens ist die Grundlage menschlicher Kommunikation. Das Teilwissen des Individuums ist ein endlicher Teil des Universums, der ganz individuell und nicht mit der Qualität und Quantität der Information identisch ist. Wichtig dabei erscheint, dass der Kartograf selbst auch über ein beschränktes, aber spezialisiertes Wissen verfügt. Mit diesem beschränkten Wissen, das sich aus Allgemeinwissen und Fachwissen zusammensetzt, wird eine gestellte Aufgabe mit der kartografischen Sprache in eine Präsentation umgesetzt. Der Inhalt dieser kartografischen Präsentation muss dann von einem Rezipienten (Kartennutzer) zurückübersetzt werden, wobei dessen beschränktes Wissen bei der Dekodierung hilft und zugleich erweitert wird [Neisser 1996]. Die Erweiterung des Wissens geschieht nur, wenn die Karte verstanden wird (diese kann auch falsch verstanden werden!) und damit zu einem tieferen Verständnis des Realraumes führt.

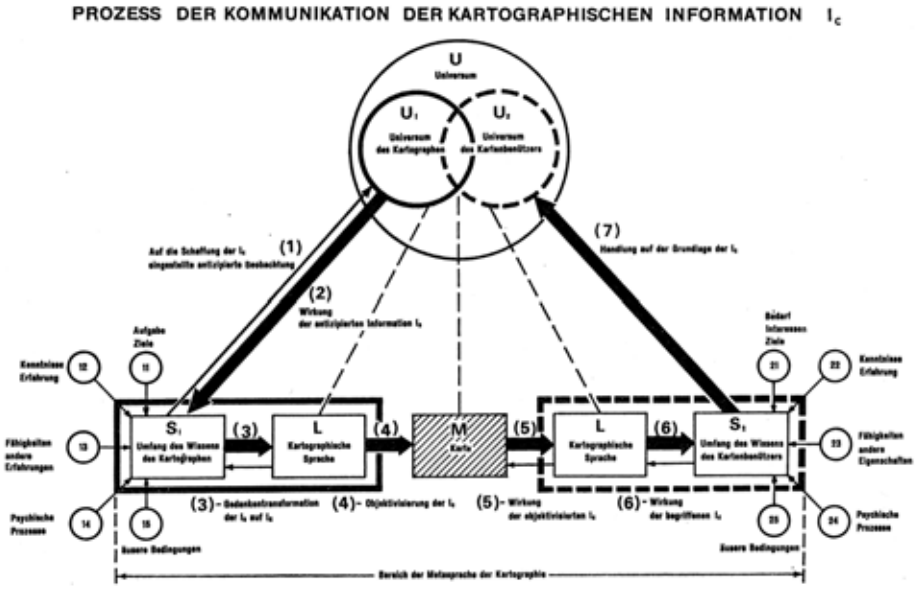


Abb. 2-14: Kolácny´s Kommunikation der kartografischen Information, Kolácny 1969.

Kolácny fordert *„..., dass die Karte die Bedürfnisse und Interessen des Konsumenten (Benutzers) optimalerweise befriedigt, leicht lesbar und begreiflich, ihr Inhalt mühelos zu merken sowie attraktiv ist und dass sie nicht nur rationell, sondern auch auf das Gefühl, z. B ästhetisch, einwirkt."* [Kolácny 1969] Diese Forderung stützt den Einsatz von 3D in der Kartografie, wenn es um eine intuitive Informationsvermittlung geht, mit der die Benutzerinteressen optimal befriedigt werden können. Es bleibt allerdings das Postulat nach leicht lesbarem, also perzeptiv erfassbarem und somit syntaktisch richtigem Inhalt und dessen „attraktive" Aufbereitung, also die Einhaltung/Berücksichtigung der sozialen Dimension oder großteils semantischen Ebene, bestehen. Weiters postuliert Kolácny die Maximierung der Karteneffektivität, die nur dann gelingt, wenn der Kommunikationskreislauf als Ganzes und nicht die Kartenherstellung getrennt von der Vermittlung/Kartenausnutzung betrachtet wird [Kolácny 1970, S. 187]. Die feindetaillierten Ausprägungen der digitalen Datenaufnahme, Analyse, Geo-Medientechnik und Vermittlung beinhalten zwar unterschiedlichste Kompetenzbereiche, die 1970 noch nicht so intensiv ausgeprägt waren wie heute. Sie sind für die Effizienzforschung auf jeden Fall getrennt zu berücksichtigen, denn sie liefern unterschiedliche Einflüsse auf den eigentlichen Kommunikationsprozess. Jedoch wird eine Wirkungssteigerung nur im gesamten Zusammenwirken aller Komponenten erreicht. Beispielsweise wirken sich Schwächen in der Analysestufe direkt auf den verfügbaren Karteninhalt aus, oder der falsche Einsatz der Gestaltungsvariablen verhindert die „gute" Vermittlung von Analyseergebnissen. Die Sichtweise und Struktur des „Kolácny-Prozesses" war so entscheidend, dass sich viele Kollegen daran anlehnten und diese kleinweise erweiterten [MacEachren 1995, Peterson 1995].

Peterson adaptiert das Kolácny Modell für interaktive Elemente, die nun eine interaktive Kommunikation ermöglichen und so eine Feedback Schleife in den Prozess zwischen interaktiver Karte und mentalem Modell einführen [Peterson 1995]. Die interaktive Karte ermöglicht nun dem Rezipienten, den Karteninhalt und die Funktionalität der Karte nach seinen Bedürfnissen und Anforderungen zu wählen, sofern diese vom Entwickler des kartografischen Informationssystems (KIS) vorbereitet wurden. Durch die Feedback Schleife und einer damit verbundenen Update Funktion eines Systems darf von einem Informationssystem (IS) gesprochen werden (vgl. Abschnitt 2.1.6). Die Feedback Schleife und damit die erfolgreiche Interaktion wird laut Peterson erst möglich, wenn genügend Bestätigungen mit der realen Welt gegeben sind, d.h. der Nutzer genügend Referenzpunkte zwischen der kartografischen Darstellung und der Realität hat und diese vergleichend kognitiv vereinen kann.

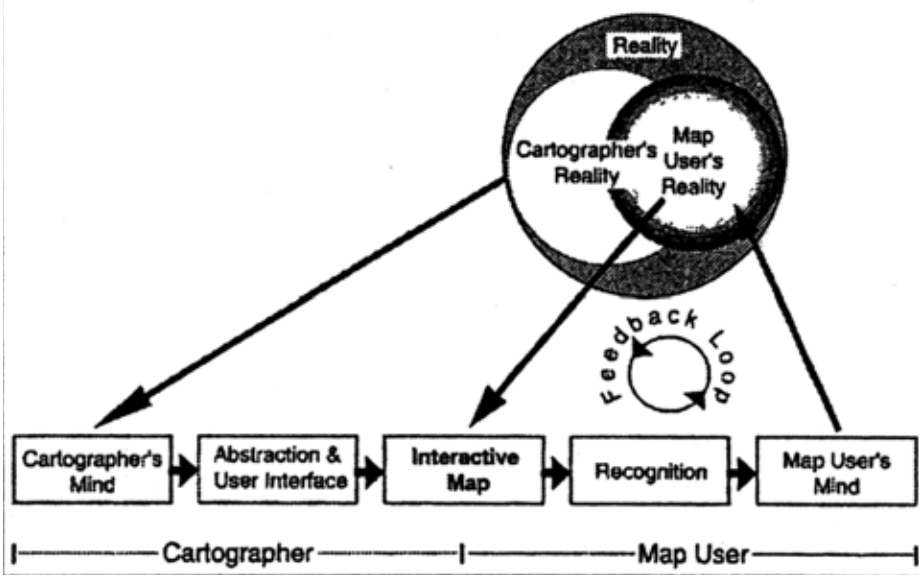


Abb. 2-15: Peterson´s Kartografische Kommunikation mit interaktiven Komponenten, Peterson 1995.

Eine interaktive 3D Karte liefert über die intuitive Darstellung und Kongruenz dieser mit dem realen Bild die geforderten Referenzpunkte für eine Interaktion. Die Eindringlichkeit der 3D Karte, also wie intensiv das Gezeigte erlebt und verwendet werden kann, ist von dem Übertragungsmedium und den verwendeten Tiefenwahrnehmungsparametern abhängig.

Brodersen bezieht sich in seiner Theorie der Geo-Kommunikation auf drei Modelle, die sowohl an Kolácny´s Modell als auch an linguistische Modelle von Sanders und Peirce angelehnt sind. Diese umfassen das Vermittlungsmodell, das Modell der Geo-Kommunikation und das Modell der Zustände [Brodersen 2007].

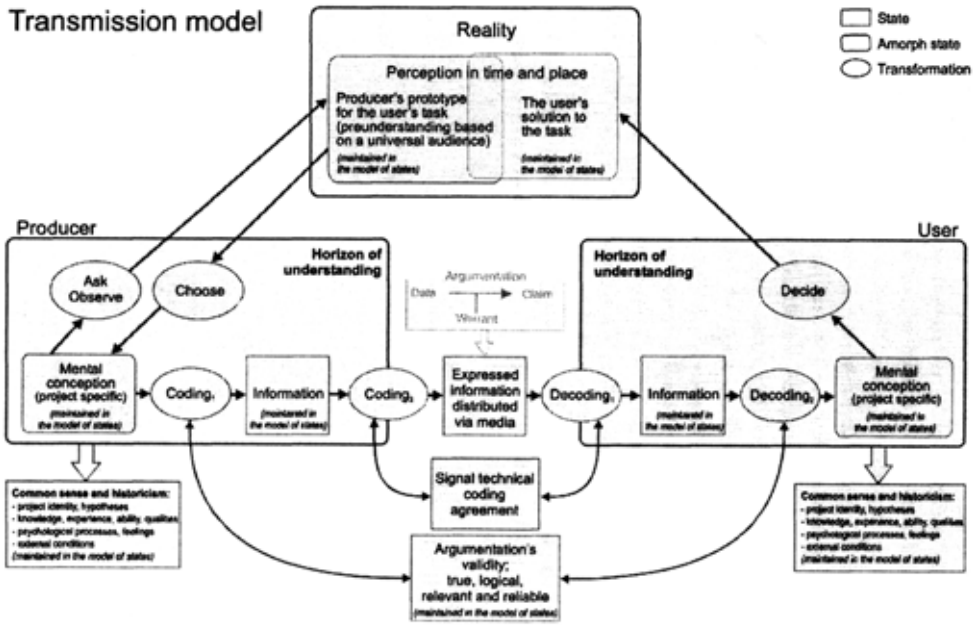


Abb. 2-16: Das Vermittlungsmodell nach Brodersen, Brodersen 2007.

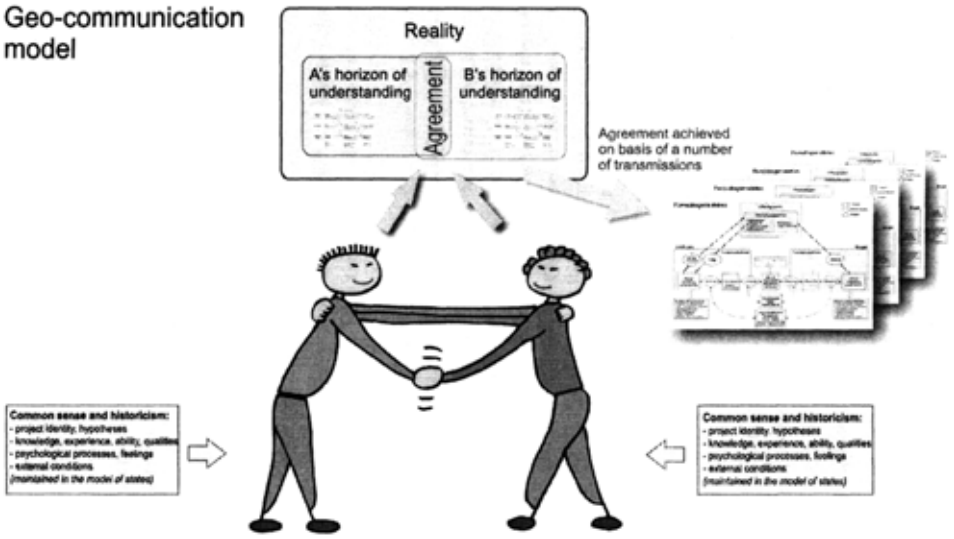


Abb. 2-17: Das GeoKommunikations-Modell nach Brodersen, Brodersen 2007.

Das Vermittlungsmodell bezieht sich auf eine einzelne Übertragung von Information, welche zwei Parteien betrifft. Die zwei Parteien können entweder zwei tatsächliche Personen sein oder eine Person, die nach einer Entscheidung via einem Web Service sucht, also eine Person und ein System, oder eine Person, die ein schwieriges Problem mit sich mit Hilfe eines Systems diskutiert. Dabei werden die Rollen von Produzenten und Nutzer entsprechend der Fragestellung innerhalb des Vermittlungsprozesses vertauscht. Das Modell der Geo-Kommunikation entspricht der Erreichung einer Einigung auf der Basis von vielen Vermittlungen. Die Einigung wird auf einem oder mehreren, das Ziel betreffenden Aspekten erreicht, wobei nicht alle Aspekte erfüllt werden müssen. Wenn eine Einigung in dem Aspekt der Verortung/Räumlichkeit gefunden wird, dann spricht Brodersen von Geo-Kommunikation [Brodersen 2007, S. 594]. Das Modell der Zustände dient der Vergleichbarkeit von Zuständen, die im Vermittlungsmodell angenommen werden. Das bedeutet, dass die Prozesse und Zustände des Vermittlungsmodells in einer systematischen Weise beschrieben werden, indem eine „normierte“ Vorlage, das Modell der Zustände, verwendet wird. Auf Basis der Peirce´schen Phänomenologie, die sich mit der Klassifizierung der Phänomene von Zuständen anhand von Zeichen, die Phänomene sichtbar machen, bedient, wird das Modell mit drei Zeichenarten, dem „Referenten“, „Representanten“ und „Interpreten“, und drei Stadien, „Daten“, „Information“ und „Wissen“, aufgebaut [Brodersen 2007, S. 595]. Jede der sich ergebenden neun Zellen in diesem Modell/Diagramm beinhaltet und beschreibt ein Zeichen, welches wiederum ein Phänomen darstellt, wenn es mit zwei weiteren Zeichen der anderen Spalten kombiniert wird.

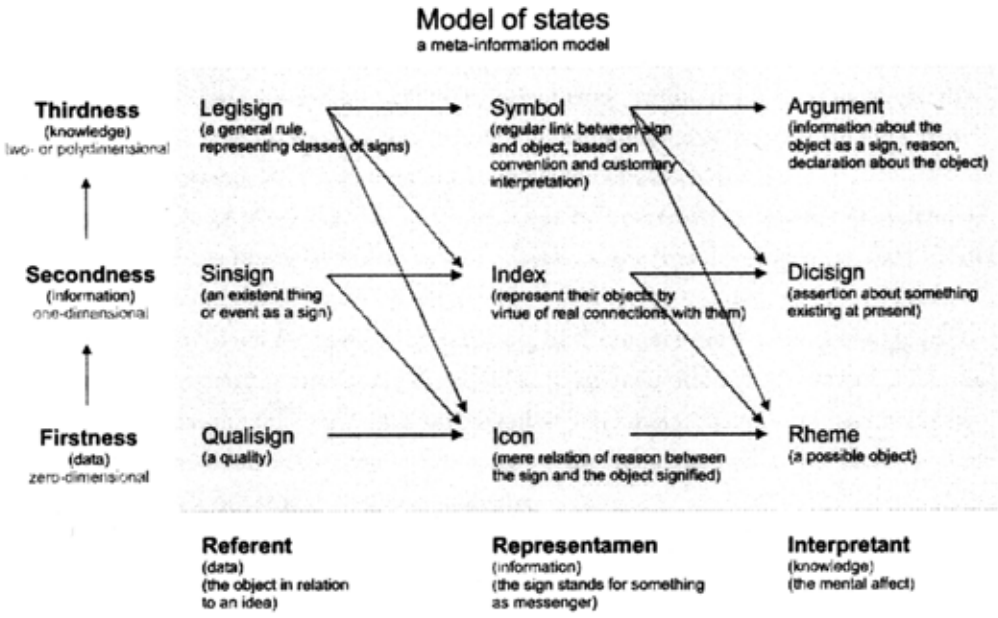


Abb. 2-18: Das Modell der Zustände nach Brodersen, Brodersen 2007.

Somit kann das Modell der Zustände auch für die Analyse von Phänomenen eingesetzt werden: um eine erfolgreiche Vermittlung durchzuführen, muss der Produzent alle neun Typen von Phänomenen mit der Information zur Verfügung stellen. Generell besitzt eine ideale Vermittlung und damit Kommunikation alle neun Zeichen, um damit dem Benutzer den Zugang zu allen Zuständen der Phänomene zu ermöglichen.

Die Komplexität der Geo-Kommunikation bei der digitalen Kartografie zeigt, dass der Einzug der Interaktivität, Adaptierung des Inhaltes, multimediale und 3D Präsentationen zwar den Inhalt den Benutzerbedürfnissen anpassen lassen, diese systematisch beschrieben und analysiert werden, aber der Kommunikationsvorgang nun über innere und äußere Gestaltungsmechanismen gebildet wird [Buzin 2001]. Die innere Gestaltung betrifft die Karte selbst, die äußere Gestaltung umfasst die gesamte digitale Anwendung mit ihrer Benutzerschnittstelle und den eingebetteten Funktionen. Mit erhöhtem Funktionsumfang und medialer Komplexität wird vom Nutzer eine mehrdimensionale Interpretation gefordert. Sämtliche Informationsebenen der Karte und Informationsmittel in der kartomedialen Anwendung sollen einerseits einzeln und andererseits in ihrem Kontext untereinander und zum Kommunikationsziel interpretiert werden. Aus dieser Information wird bei entsprechender Übereinstimmung mit vorhandenem Wissen neues eigenes Wissen im Gedächtnis generiert. Es wird also aus einem Querschnitt der eingebetteten Weltwissen aller beteiligten Produzenten das neue Wissen des Nutzers geformt [Buzin 2001, S. 181 f].

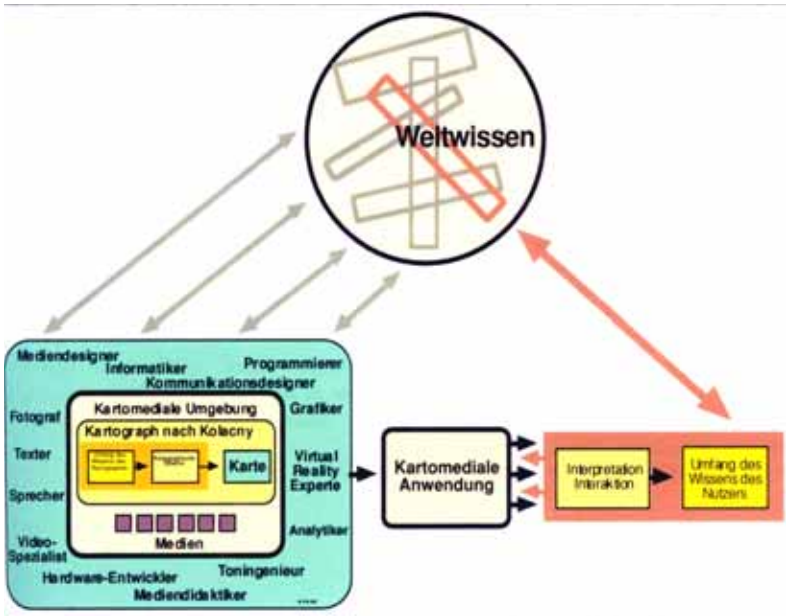


Abb. 2-19: Die kartomediale Kommunikation nach Buzin, Buzin 2001.

Für andere Kartografen beginnt der Kommunikationsprozess bei den Daten, die generell von Dritten gesammelt werden. Aus ihrer Sicht ist die Aufgabe des Kartografen, sowohl diese Daten zu studieren und ihre Eigenschaften kennenzulernen als auch die Ziele der Informationsübertragung zu berücksichtigen, um die notwendige Datentransformation für eine korrekte kartografische Präsentation durchführen zu können [Kraak und Ormeling 1996]. Die kartografische Präsentation löst einen kognitiven Prozess aus, der das Wesentliche eines räumlichen Phänomens vermittelt, wenn die Darstellung hinreichend aufbereitet wird. Die kartografische Präsentation, also die Karte, ist jede Form der wissenschaftlichen Visualisierung, wenn ihr Ziel die Verbreitung von räumlicher Information und ihren räumlichen Beziehungen mit den Mitteln der Kommunikation, Exploration und Analyse ist.

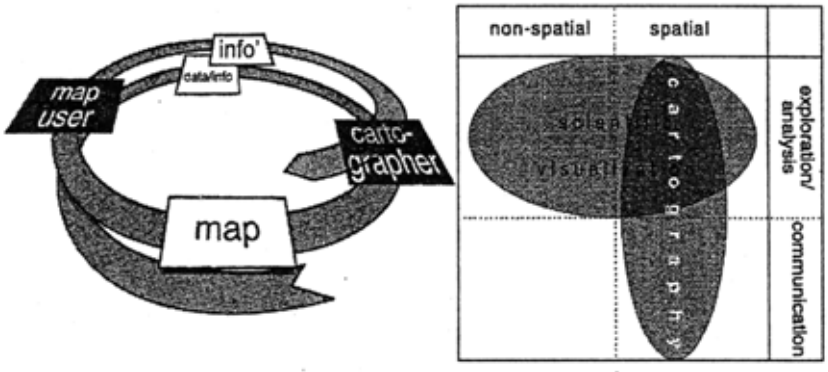


Abb. 2-20: Kraak und Ormeling 1996.

Mit den unterschiedlichen Übertragungsmedien und Informationsmitteln bietet sich der Kartografie eine breite Basis an Werkzeugen, um die Effizienz der Karte zu steigern (aber diese auch bei unsachgemäßer Aufbereitung zu verringern). Die Kommunikationstheorie bildet einen Teil der kartografischen „Grundtheory“, die notwendig ist, um den Erfolg von Karten (Kommunikationserfolg) zu verbessern. Die Forderung nach dieser paradigmenbehafteten Grundtheorie findet sich bereits 1976 in dem Buch „Nature of Maps“ von Robinson und Petchenik [Robinson und Petchenik 1976, S. XI]. Darin wird unter anderem versucht, den Bereich der Kartografie zu verbreitern, indem das kognitive Kartieren als wichtige Untersu-

chungsmethode aufgezeigt wird. Die Kartografie soll von der alleinigen Beurteilung der Darstellungsfunktion auch die kognitiven und wahrnehmenden Aktivitäten von Kartografen, Kartenherstellern und auch Kartennutzern in Betracht ziehen, um die Erfolge und Misserfolge im Kommunikationskanal der Karte entdecken zu können. Mit dieser Argumentation kartiert Board [Board 1967] seine Sicht der kartografischen Kommunikation, wobei dieser Prozess durch die reale Welt, den Kartografen, die physikalische Karte und den Kartenleser geprägt ist. Daraus ergeben sich vier Beziehungen: die Beziehung zwischen... (1) Realraum und der kognitiven Karte des Kartografen, (2) der kognitiven Karte des Kartografen und der physikalischen Karte, (3) der physikalischen Karte und der kognitiven Karte des Kartennutzers und (4) der kognitiven Karte des Kartennutzers und des Realraums.

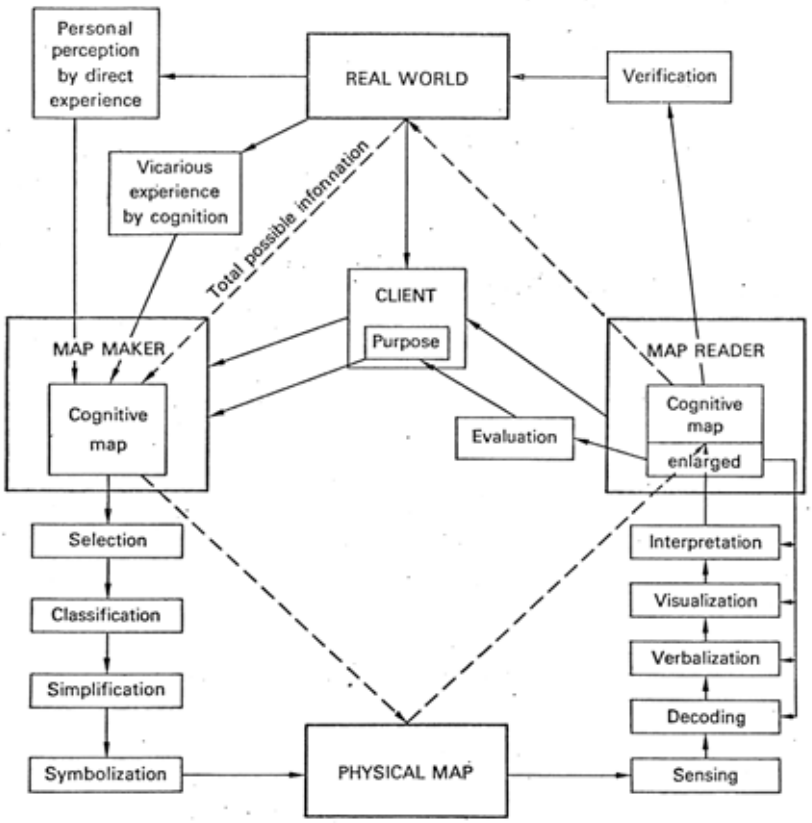


Abb. 2-21: Kommunikationsmodell von Board 1967, Board 1967.

Dieser Abschnitt der kartografischen Modellbildungen zeigt die verschiedenen Arten, wie Kartografie gedanklich strukturiert ist. Die meisten Modelle unterstützen implizit die Verwendung von 3D als kommunikationsunterstützendes Mittel, sei es in Form von Interaktivität bei der Kameraführung oder wegen der intuitiven Vermittlung der dritten Dimension. Allerdings erschwert die Vereinfachung der unterschiedlichsten GIScience Kompetenzen zu einer Person, dem Kartografen, die Differenzierung des Informationsmittels 3D mit seinen verschiedenen Ausformungen in den drei Modellstufen. Vielmehr ist es hilfreich, die Rolle des Kartografen den Kompetenzen entsprechend aufzusplitten und so in den ersten zwei Modellstufen eine Differenzierung der Handlungen und Disziplinen herbeizuführen (vgl. Abb. 2-7). Damit wird die unterschiedliche Bedeutung von 3D als Höhendimension oder Zeitdimension bei der Datenaufnahme oder dreidimensionale Topologie im euklidischen Raum oder höhen- bzw. zeitabhängige Analysedimension oder Identifikationsbasis bei der räumlichen Kommunikation in den Modellstufen deutlich.

Dieser Abschnitt „2.2 Der kartografische Kommunikationsprozess“ stellt mit dem Kernelement Karte als Massenkommunikationsmittel einen geschlossenen Kreislauf vor. Neben vielen Rekursionsschleifen innerhalb der Modellstufenabfolge, zwischen den verschiedenen Kompetenzbereichen (Modellierung, Analyse, Mediendesign, Medieninformatik, Kommunikationsdesign, Kommunikationsinformatik, Kognition, ...), besteht auch die Rückkopplung von den gesellschaftlichen Auswirkungen, also der sozialen Dimension, sowohl auf die Datenerfassung als auch direkt auf die Datenmodellierung oder das Kommunikationsdesign. Der Massenkommunikationseinfluss betrifft jede Modellstufe und darin enthaltene Rolle, sowohl Produzent als auch Rezipient gleichermaßen.

Die sinnvolle Verwendung von 3D kann auch mit der speziellen kartografischen Kommunikationstheorie argumentiert werden, wenn der kartografische Vermittlungsprozess und die verständnisvolle Informationsaufbereitung als zentrale Aufgabe der Kartografie akzeptiert werden. So wird das Argument von Peterson aufgegriffen, dass sinnvolle Interaktion erst mit einem gewissen Maß an Identifikation zwischen realem und virtuellem Raum entsteht [Peterson 1995]. Darin steht 3D einerseits als leicht verständliche, zumindest intuitiv erkennbare Präsentation des dreidimensionalen Raumes, andererseits erweitert 3D die Interaktion um die Freiheitsgrade der Kamerabewegung. Zusätzlich müssen Rezipienten in dieser interaktiven und meist auch multimedialen Präsentation aus vielen Informationsebenen das eigentliche Wissen extrahieren [Buzin 2001]. 3D Elemente können bei dieser Extraktion mit einem gewohnten Umfeld helfen. Somit bieten 3D Elemente als virtuelle Repräsentanz des realen Raumes eine natürliche Metapher für die Wissensexploration an, sofern die Darstellung auf dem Übertragungsmedium wahrnehmbar bleibt. Im folgenden Abschnitt wird der Einfluss der unterschiedlichen Lerntypen und die Rolle/Wirkung von Metaphern des 3D Raumes im Zusammenhang mit der räumlichen Informationsvermittlung diskutiert.

2.3 Lerntheorien, räumliche Wissensvermittlung und die menschliche Psychologie

Wenn 3D Elemente als natürliche Metapher für die räumliche Wissensexploration argumentiert werden, dann muss ein grobes theoretisches Gerüst der psychologischen Vorgänge für das Lernen, in Form von Lerntheorien, zumindest modell- und hypothesenhaft berücksichtigt werden. Es kann ja sein, dass die natürliche Metapher des Raumes für die räumliche Wissensexploration nicht hilfreich ist, da ein räumlicher Lernprozess andere Aufnahmestrukturen verlangt [Bodemann et al 2004]. Möglicherweise ist die natürliche Raumstruktur so komplex, dass diese ein Lernen blockiert oder für bestimmte Lerntypen nicht verwendbar ist?

Grundsätzlich versteht man unter Lernen den Erwerb von neuen Kenntnissen, Fähigkeiten oder Fertigkeiten. Der Prozess des Lernens kann dabei bewusst, unbewusst, individuell oder kollektiv durchgeführt werden. Er resultiert in einer Veränderung des Verhaltens und Denkens, da neues Wissen akkumuliert und neu gewonnene Einsichten generiert werden. Die Lernfähigkeit gilt als Grundvoraussetzung für eine Anpassung eines Individuums an die Umgebungsgegebenheiten und erlaubt eine sinnvolle Interaktion und Veränderung nach eigenen Interessen. Damit wird die Voraussetzung von Bildung und einem reflektierten Handeln zu sich, anderen und der Welt geschaffen [Bodenmann et al 2004]. Als Basis für das Lernen von Wissen gelten direkte und indirekte Erfahrungen, die durch Imitation und nachfolgende Evaluierung von Imitationssequenzen erfasst werden [Bandura 1987]. Mit dieser Betrachtung erlangen virtuelle 3D Umgebungen neue Aspekte mit dem Kontext Lernen: die Imitation und Evaluierung von Sequenzen kann auch vollständig in der virtuellen Welt durchgeführt werden [Bülthoff 2001]. Gerne wird diese Technik für kognitive Testverfahren und räumliche Verhaltensuntersuchungen angewandt, da die Ein-

fluss- bzw. Störfaktoren in der virtuellen/synthetischen Welt präzise gesteuert werden können. Weiters wird im Aufnahmeprozess laut Theorie der doppelten Kodierung die Verstärkung von Information durch mehrfache Kodierung und Verwendung unterschiedlicher Modi derselben Information hervorgerufen. Diese Verstärkung entspricht einer Motivation, die die Bildung von Schemen und Ausbildung spezifischer Verhalten initiiert [Dransch 1997]. Die Einbindung von Multimedia, aber auch die Verwendung von 3D Elementen, unterstützt die Aspekte der doppelten Kodierung. Multimedia per definitionem verwendet unterschiedliche Sinnesmodi bei der Informationsaufbereitung. 3D Elemente bieten mit ihrer Charakteristik ein verschachteltes Informationsmittel an, d.h. sowohl das 3D Element selbst liefert eine Aufbereitung der Information als auch die Textur, Interaktion oder eine Tonquelle des Elementes unterstützen eine bestimmte Information. Beispielsweise wird die Information „Kirche“ über die Form eines Kirchturmes, die entsprechende Textur, dem Ton des Glockenschlages und einem spezifischen elementeigenem „Highlighting” mit vier Kodierungen vermittelt. Weiters ist Lernen durch das Ausbilden individueller Organisations- und Systemstrukturen geprägt. Besonders die räumliche Strukturierung von Information nach diesen individuellen Strukturen unterstützt nach Zimbardo [Zimbardo 1995] und anderen Lerntheoretikern die Wissenserweiterung. Generell funktioniert diese Strukturierung mit Ähnlichkeiten, Größen, Aussehen und zeitlichen Verhalten, welche auch für die kartografische Informationskodierung adaptiert werden. In der Kartografie werden generell semantische Klassen und hierarchische Strukturen verwendet [Buziek 2000]. 3D Elemente liefern unter diesem Aspekt eine weitere Dimension für Ähnlichkeiten, Größen und Aussehen, wenn diese verwendete Kombination von Grund- und Aufriss eine mehrdimensionale Informationserweiterung erlaubt, d.h. wenn die Kombination aus Grund- und Aufriss wahrnehmbare Informationen auf dem Übertragungsmedium abbilden kann. Das Wissen eines Rezipienten über eine Umgebung, welches letztlich als Filter für neue Wissensaufnahme und das Lernen bildet, wird im Fall Kartografie und räumlich bezogenen Informationen zu einem großen Teil über die mentale Abbildung oder „kognitive Karte“ gemessen. Aus diesem Grund liefert Golledge eine noch detailliertere Definition für das kognitive Kartieren: kognitives Kartieren bedeutet ein bedachtes und motiviertes Kodieren von räumlicher Information in einer Weise, dass diese Abbildung für Navigationsfragen, wie „Wo befinde ich mich?“, „Wo befinden sich speziell kodierte Objekte im Raum?“ oder „Wie komme ich von Platz A nach B?“, und für Vermittlungs-/Kommunikationsarten von räumlichem Wissen verwendet wird [Golledge 1999].

An dieser Stelle liefert Piaget mit seinen erkenntnistheoretischen Grundlagen der geistigen Entwicklung eine wichtige Erweiterung des Stimulus-Response Modells der allgemeinen Kommunikationstheorie in Bezug auf eine Vermittlungs- oder Lernsituation, wenn er die Unangemessenheit dieses Modells als allgemeine Verhaltensformel aufzeigt [Piaget 2003]. Damit ein Stimulus eine Reaktion auslösen kann, ist es notwendig, dass der betroffene Organismus zuvor für diesen Stimulus sensibilisiert worden ist. D.h., dass der Organismus die erforderliche „Reaktionskompetenz“ besitzt [Piaget 2003, S. 53 ff]. Wenn also vorausgesetzt wird, dass ein Organismus für einen Stimulus sensibilisiert ist, dann wird damit impliziert, dass er schon eine Struktur besitzt, die den Stimulus verarbeiten bzw. assimilieren kann. Erst die Struktur (das vorhandene Wissen) bietet die Fähigkeit zu reagieren. Folglich darf das ursprüngliche Stimulus-Response Modell (vgl. Abschnitt 2.1.3) nicht in der einlinigen Form S→R geschrieben werden, sondern als

$$(T + I) \rightarrow AT + E$$

In dieser Formel steht T für die vorhandene Struktur, die mit einem Stimulus I versehen/assimiliert wird. Das Ergebnis der Assimilation (T + I) bildet dann AT als Reaktion auf den Stimulus, wobei E alle Elemente der, aus der Struktur ausgeschlossenen Stimulussituation sind. Assimilation bezeichnet die Integration externer Elemente in die sich entwickelnden oder abgeschlossenen Strukturen eines Organis-

mus. Sie gewährleistet nach Piaget die Kontinuität der Strukturen und die Integration neuer Elemente in diese Strukturen. Wenn aber nur Assimilation an einer Entwicklung beteiligt wäre, dann gäbe es keine Variationen in den Strukturen. Deshalb versteht Piaget die biologische Assimilation nur in Kombination mit ihrem Gegenstück, die Akkomodation, die für die nichterblichen Variationen, also leichte Unterschiede im Aufnahmeprozess, verantwortlich ist. Die Akkomodation bezeichnet jede Modifikation eines Assimilationsplans (oder -struktur), die durch die bereits assimilierten Elemente hervorgerufen wird. So sind diese Variationen spezifische Antworten auf bestimmte äußere Bedingungen. Dieser Beitrag von Piaget unterstützt die Einbettung von 3D Elementen in der kartografischen Lernapplikation, da mit dieser Technologie Grundstrukturen menschlichen Wissens verwendet/angesprochen werden können.

Der Lernprozess für eine mentale Abbildung räumlicher Information teilt sich in zwei Schritte: einerseits die Herangehensweise und Aufnahme von neuer Information [Jonassen et al 1993] und andererseits die Informationsverarbeitung [Mayer 2000]. Die Wissenserweiterung benötigt beide Schritte, da nicht nur die Information in individuellen Strukturen verwaltet und gespeichert wird, sondern mit der weiteren Informationsverarbeitung als Filter und Grundlage weiterer Aktivitäten im Raum, als individuelle Anwendung von Gelerntem, verwendet wird. Das Lernen mit Bildungsapplikationen muss beide Schritte berücksichtigen [Brunner-Friedrich 2004]. Ihre formalisierte Umsetzung als Informationssystem basiert auf der Klassenbildung, die für die Stufe der Informationsaufnahme den „aktiven/passiven“- [Mayer 2000] und den „ganzheitlichen/seriellen“- Nutzer kennt [Jonassen et al 1993]. Für die Stufe der Informationsverarbeitung sind die „akustische/visuelle“- [Blumstengel 1998] und die „abstrakte/grafisch-orientierte“- Klasse [Paivio 1978] zusätzlich denkbar. So suchen und erfassen aktive Nutzer die Information mit dem bestimmten Ziel eine Aufgabe zu lösen. Es werden Fragen, wie z.B. „Ich suche nach einer bestimmten Stadt!“ oder „Wie kann dieses Phänomen dieser Region bezeichnet werden?“, bearbeitet. Passive Nutzer wollen die gesamte relevante Information mittels vorbereiteter Lektionen erhalten. Diese Einstellung bei der Informationsaufnahme führt zu Fragen wie „Zeige mir weitere Information zu dieser Umgebung!“ [Brunnner-Friedrich 2004].

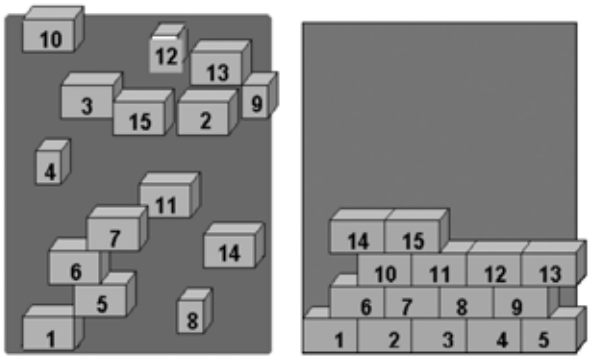


Abb. 2-22: Holist vs. Serialist, Brunner-Friedrich 2004.

Die Aktivitätsklassen werden durch den Detaillierungsgrad der Informationsaufnahme ergänzt und bilden so den ganzheitlichen und seriellen Typus. Der ganzheitliche Typ benötigt eine Übersicht, bevor detaillierte Information aufgenommen und der Übersicht zugeordnet werden kann. Der serielle Typ beginnt mit der Detailinformation und ergänzt so seine Gesamtsicht. Diese „bottom-up“ Methode fokussiert auf die Details und missachtet Verbindungen/Korrelationen zwischen anderen Teilen.

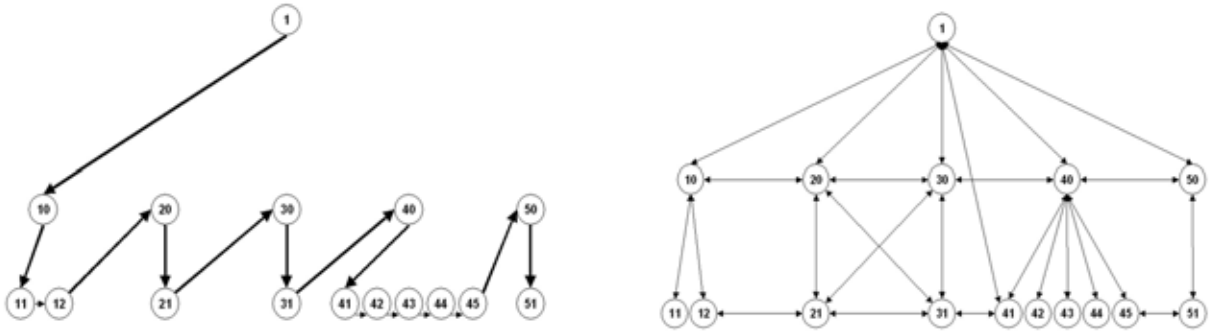


Abb. 2-23: Aktiver und passiver Lerntyp, Brunner-Friedrich 2004.

Diese Lerntypen sind mögliche Extremfälle. Tatsächlich werden Nutzer eine Mischung aus beiden Klassen aufweisen. Für die Umsetzung in virtuellen kartografischen Umgebungen mit 3D Elementen beeinflussen diese Klassen in erster Linie die aktive oder passive Interaktionsform, wobei der Nutzer entweder die komplette Kontrolle über die Kamerabewegung hat oder vordefinierte Kamerabewegungen abruft. Zusätzlich wird der ganzheitliche Typ eine grundrißähnliche Sicht der gesamten Szene benötigen, um weitere Zuordnungen durchführen zu können. Der serielle Typ ergänzt die einzelnen detaillierten Kamerasichten zu seinem Gesamtverständnis der virtuellen Welt.

Das Lernen räumlichen Wissens mittels kartografischer Anwendungen verwendet die Interaktion als Kernwerkzeug, weil damit eine bidirektionale Kommunikationsform mit dem Benutzer etabliert wird (vgl. Abschnitt 2.1.7). Dieser Dialog zwischen Anwendungsoberfläche und Benutzer bedient sich zweier Interaktionsmethoden, der deskriptiven und deiktischen Methode, die letztlich in einer hybriden Interaktion aus beiden Methoden resultieren [nach Herczeg 1994, S. 98]. Die deskriptive Interaktion erfordert vom Benutzer eine sprachliche Eingabe in Form von Symbolen, formaler Sprache oder natürlicher Sprache. Symbole werden dabei aus Operatoren oder ganzen Objekten gebildet, formale Sprache bedient sich eines syntaxbasierten Alphabets und natürliche Sprache basiert auf dem gesamten Umfang einer lokal entwickelten Sprache. Die deiktische Interaktion bietet eine endliche Auswahl an Interaktionsmitteln in Form von Menüs, beschrifteten Funktionstasten und metaphorischen Dialogen, wobei Letzterem im Zusammenhang mit der Verbildlichung durch 3D Elementen die meiste Bedeutung zukommt. Metaphorische Dialoge bezeichnen die Verbildlichung der Anwendungsoberfläche, d.h. Metaphern in Form von Piktogrammen bilden auf dem Übertragungsmedium eine Anwendungsumgebung sowohl bildlich als auch funktional nach. Einen Kernbegriff in diesem Zusammenhang bildet das Icon oder die Ikonografie, welches als objektabbildende Metapher eine „äquivalente“ Funktion zugänglich macht, beispielsweise der Papierkorb auf einer „Desktop“ Oberfläche. Der wesentliche Vorteil dieser metaphorischen Dialogform ist die einfache, realitätsnahe und somit intuitive Kodierung von relevanten Objekten und Werkzeugen. Bekannte Metaphern bieten einem Rezipienten/Nutzer einen direkten Hinweis auf die verborgene Bedeutung und Funktion. Die Identifikation von Realität und Virtualität beansprucht so nur kurze Anlernzeiten und motiviert zur Interaktion. Die Sichtweise der metaphorischen Dialoge aus der Informatik entspricht großteils einer kartografischen Methodik der Informationsvisualisierung mit entsprechenden Signaturen oder Piktogrammen. Sie übernimmt für die Kommunikation der Kartenelemente und des Karteninhaltes einen relevanten Anteil [Arnberger 1993, S. 49].

2.3.1 Metaphern – Eigenschaften

Der ursprüngliche Begriff Metapher stammt aus der Sprachforschung, wo man unter Metaphern Bedeutungen versteht, die über die enge wörtliche Bedeutung des Gesagten hinausgehen. Sie beruhen auf Ana-

logien bzw. Gleichnissen. Eine Metapher bedeutet also gewissermaßen nicht sich selbst, sie lässt "etwas" als stellvertretend für "etwas anderes" stehen. Dies entspricht grundsätzlich einer Analogie: Dinge, welche die gleichen Reaktionen bei uns hervorrufen, können wir als identisch auffassen und/oder eines als Symbol für das andere stehen lassen. Ferkel sehen manchmal nicht sonderlich reinlich aus. Deshalb können wir jemanden, der unsauber ist, als Ferkel bezeichnen. Durch Metaphern gewinnt eine Sprache an Ausdrucksmöglichkeiten. Es kommen Bedeutungsnuancen hinzu, welche die Kommunikation lebendiger, prägnanter und oftmals verständlicher machen. Viele Metaphern sind so in unser Sprachrepertoire integriert, dass sie uns überhaupt nicht mehr als solche auffallen. Beispielsweise das "Herz" des Salats ist kein Herz, im "Augenblick" blickt kein Auge und der "Fuß" des Berges hat keine Zehen.

Theorien zur Metapher finden sich häufig in der Linguistik und der Philosophie. Ein etwas jüngerer Beitrag ist die kognitive Metapherntheorie von Lakoff & Johnson (1980) [Lakoff&Johnson 1980]. Nach den Autoren besteht das Wesen einer Metapher darin, dass wir durch sie eine Sache oder einen Vorgang in Begriffen einer anderen Sache bzw. eines anderen Vorgangs verstehen und erfahren. Bei der Analyse sprachlicher Wendungen wie “Sie verteidigte ihre Ansicht vor allen Anwesenden”, ”Er zog sich auf seinen Standpunkt zurück” und “Mit dieser Strategie hast Du keinen Erfolg” stellen sie fest, dass diese metaphorischen Wendungen nicht nur sprachliche Phänomene sind, sondern die Struktur unseres Denkens widerspiegeln. Demnach wird über STREIT nicht nur mit den gleichen Worten gesprochen wie über KRIEG, sondern ein Streit wird auch wie Krieg verstanden und erfahren. Wenn dies zutrifft, müsste der Einfluss von Metaphern auf das menschliche Denken auch durch nicht-sprachliche Repräsentationen widergespiegelt werden. Aufgrund dieser Zusammenhänge könnten konzeptuelle Metaphern ein Hilfsmittel bei der Gestaltung intuitiv bedienbarer Produkte sein. Im Zentrum der Bedienung steht die Mensch-Computer-Schnittstelle und somit User Interface Metaphern. Mit der Hilfe bereits vorhandenen Wissens aus einer „Ursprungsdomäne“, einem vertrauten Wissensbereich, wird auf eine „Zieldomäne“, einen noch unbekannten Wissensbereich, übertragen. Dieser Prozess gelingt mit der Entkoppelung der technischen Implementation, also der technischen Funktionsweise, von der Repräsentation, der sichtbaren Oberfläche. Aus Sicht der Entwickler können mit diesem Vorgehen kreative Gestaltungslösungen gefunden, die Konsistenz der Benutzeroberfläche gewahrt und die Menge der zu treffenden Gestaltungsentscheidungen mittels metaphernbasierter Entscheidungskriterien überschaubar gehalten werden [Stary 1989].

Fast alle GUI-Elemente könnte man heute als ‘Metaphern’ bezeichnen. Die Bezeichnung ‚Metapher’ ist jedoch nur von einem technischen Standpunkt aus zutreffend. Für Nutzer haben sie nicht immer eine metaphorische Bedeutung. Bei der Arbeit mit der Darstellung eines Adressbuchs auf dem Bildschirm findet z.B. kein Domänenwechsel im Vergleich zu der Arbeit mit einem realen Adressbuch statt: die Nutzer bewegen sich immer in der Domäne ‚Adressverwaltung’.

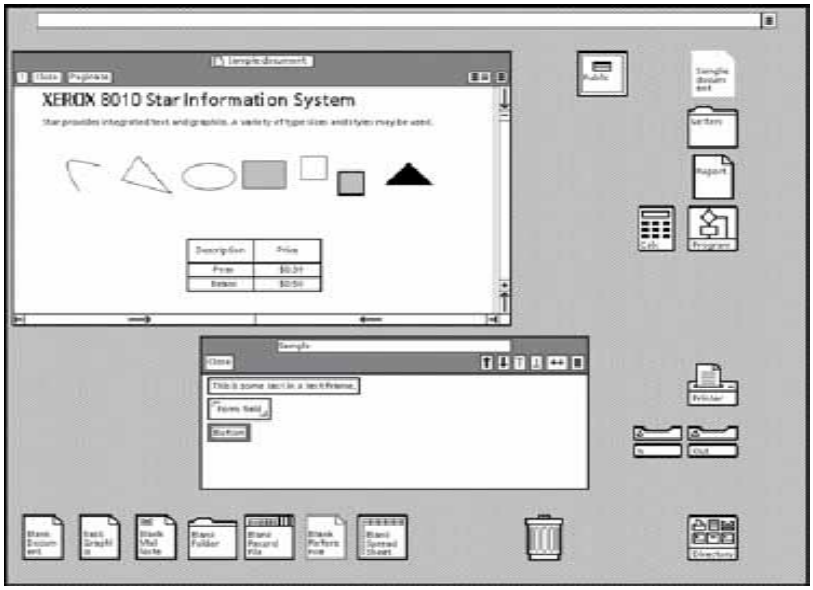


Abb. 2-24: Die erste grafische Benutzungsschnittstelle des XeroxStar 8010 beinhaltete viele neue Metaphern.

Analogien bzw. Gleichnisse fördern den Lernprozess: ein Sachverhalt wird mit Metaphern verdeutlicht, besonders dann, wenn Sachverhalte vermittelt werden sollen, von welchen der Kommunikationsempfänger keine Ahnung hat. Beispielsweise erklärt ein Computerspezialist das Fehlschlagen eines Computersystemstarts mit den Worten: „Jetzt schaut er nach, ob er den Treiber auf der eingelegten CD-Rom findet. Wenn er diesen dort nicht findet, dann…“ Mit diesem Vergleich von Mensch und Computer bedient sich der Computerspezialist durch die Personifizierung mit dem „er“ einer Metapher, um den technischen Vorgang im Computer leichter erklären zu können. Der Fachmann vermutet, mit dieser Verständnisbrücke einem Unbedarften die Vorgänge erklären zu können.

Grundsätzlich sind Metaphern eine Denktechnik. Mit ihrer Hilfe können Probleme gelöst, Neues gelernt und Zusammenhänge verstanden werden. Unser Denken über neue Probleme führt ja zunächst immer über schon vorhandenes Wissen, und die Gestaltung neuer Technologien geht immer von Vertrautem aus.

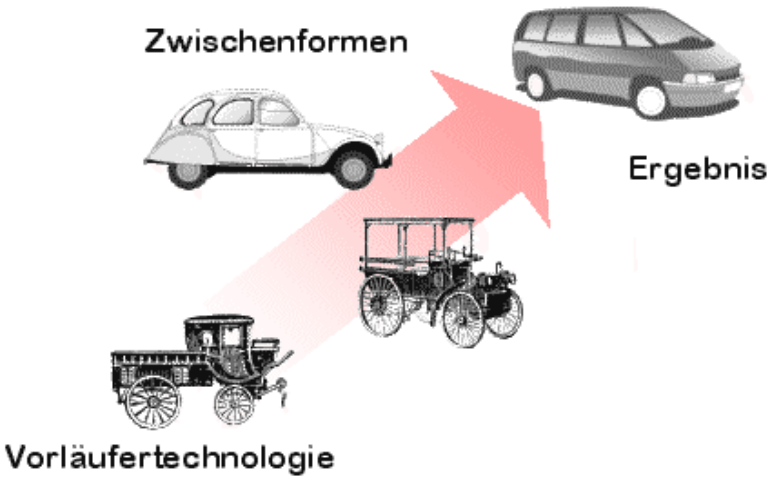


Abb. 2-25: Technologieentwicklung als evolutionärer Prozess.

2.3.1.1 Metapher Typen

Die Ähnlichkeit, die dazu führt, dass ein Ding stellvertretend für das andere stehen oder es ersetzen kann, kann auf unterschiedlichen Zusammenhängen aufgebaut werden.

Die visuelle Analogie beruht auf ähnlichem Aussehen. Eine Website hat gewisse Ähnlichkeiten mit einer Broschüre (Texte, Layout, Bilder etc.), und deshalb kann man die Denk-Schemata, die man aus der Gestaltung von Broschüren kennt, auf das neue Medium übertragen.

Die funktionelle Analogie beruht auf Ähnlichkeiten in der Aufgabe, die ein Interface löst (oder auch nicht). Bestimmte Funktionen des Auswählens von Menüoptionen auf einer Website ähneln Auswahlprozessen im Bereich der Anwendungssoftware, weshalb man die Menüsteuerung auf einer Website analog zu dem Interface einer Textverarbeitung oder Tabellenkalkulation konstruieren kann.

Eine der derzeit im Web dominierenden ist die "organizational metaphor". Sie basiert auf einer strukturellen Analogie, die - oft nur stillschweigend - behauptet, dass der Aufbau einer Website sinnvoll gestaltet ist, wenn er das Organigramm des Unternehmens widerspiegelt. Das Unternehmen hat Abteilungen, die Website Sektionen, was liegt näher, als beides miteinander zu verbinden? [Komm1]

2.3.1.2 Erweiterte Metapher Typen für Multimediakartografie

Die traditionellen Metaphern für Benutzerschnittstellen und GIS müssen für multimediale Applikationen und Karten erweitert werden, wenn nicht nur die Bedienung und Analyse eines Inhaltes, sondern besonders die Wissensvermittlung als zentrale Aufgabe gesehen wird [Cartwright et al 2006]. Das erweiterte Set von Metaphernklassen besteht aus dem Geschichtenerzähler (storyteller), dem Navigator, dem Guide, dem Weisen (sage), dem Datencontainer, dem Factbook, dem Spieler, dem Theater und der Werkzeugleiste.

Die Geschichtenerzähler (storyteller) Metapher wird verwendet, um die Information in Form von Geschichten zugänglicher zu machen. Viele Benutzer wollen eine Geschichte hören, während sie auf die grafische Darstellung sehen. Sowohl die akustische als auch die textliche Darstellung der Geschichte sind möglich. Die Erzählung von Geschichten liefert meist Hintergrundinformationen, die zusätzlich zur Grafik ein breiteres Verständnis ermöglichen.

Der Navigator hilft bei der Bedienung der interaktiven multimedialen Karte. Einige Poweruser werden diese Art der Metapher ablehnen, da die Funktionalitäten bekannt sind. Für jene, die die Funktionalitäten noch nicht exploriert haben, wird ein/e Navigator/Navigationshilfe hilfreich erscheinen. Endgültige Navigationsstrategien werden dann auf Grund der Benutzerbedürfnisse und den aktuellen Anwendungsgewohnheiten angepasst werden.

Der Guide kann zur Auffindung einer exakt definierten Informationstype zu einem bestimmten Benutzer mit bestimmter Anwendung/Aufgabe benutzt werden. Mit dem Guide soll der Zugang zur Information schneller und präziser erfolgen.

Der Weise (sage) ist dem Geschichtenerzähler sehr ähnlich. Der hauptsächliche Unterschied ist, dass der Weise Expertenwissen und Erfahrungen in die Geschichte einbaut. Es kann damit als „expert storytelling“ gesehen werden, welches gesprochene, geschriebene und elektronische Methoden verwendet.

Die Datenspeicher Metapher ist eng verbunden mit dem Datenhighway, der Infobahn Metapher. Über das Internet können bei einem CD-Rom Atlas unendlich viele Quellen und Zusatzinformationen eingebunden werden.

Das Factbook ist eine Sammlung von Fakten, die als CD-Rom-Publikationen oder online-Services verfügbar sind. Das Factbook ist der Link von Zusatzinformationen zur realen Welt.

Die Spieler- (gameplayer) Metapher benutzt Eigenschaften eines Spiels, sowohl Puzzle als auch „Ballerspiele“, um die Informationsaufnahme auf spielerischem Wege zu ermöglichen. Spiele werden verwendet, um den Benutzer, Betrachter und Teilnehmer neue Muster von Phänomenen entdecken zu lassen.

Die Theater-Metapher verwendet Objekte eines Theaters, um die Funktionalität einer Software zugänglich zu machen. Diese Metapher ermöglicht, tägliche Aktivitäten und spezifische Probleme darzustellen.

Die Toolbox kann unterschiedliche Werkzeuge für die individuellen Bedürfnisse eines Benutzers zur Verfügung stellen. Die Toolbox wird mittels des Benutzer Browsings und der Werkzeugauswahl gefüllt. Die Werkzeugleiste wird demnach von Benutzer zu Benutzer unterschiedlich sein.

2.3.2 Entwicklungsphasen der menschlichen Psychologie als räumliche Verständigungsgrundlage

Die unterschiedlichen Metapher-Typen fördern die Reaktionskompetenz der Rezipienten und ermöglichen so erst die Kommunikation, die die Grundlage des Wissenserwerbs bildet. Die Fähigkeit die Metaphern zu verstehen, basiert sowohl auf den eigenen Erfahrungen und Zuordnungen als auch auf dem Entwicklungsstand der kognitiven Verarbeitung. Sie umfasst zusätzlich zu den operativen Handlungen eines Rezipienten die semiotischen Funktionen, die die figurativen Tätigkeiten unterstützen und die Wirklichkeit so repräsentieren, wie diese in der individuellen Wahrnehmung, Nachahmung und bildhaften Vorstellung erscheint. Wird demnach argumentiert, dass 3D Elemente durch ihre natürliche Raummetapher eine intuitive Raumerfassung mit breitem zwischenmenschlichen Verständnis ermöglichen (da diese Präsentationsform nicht dekodiert werden muss), dann wird es interessant, wie weit diese Verständnisgrundlage in der menschlichen Entwicklung zurückreicht. D.h., ab welchem Zeitpunkt ist das kognitive Verhalten soweit ausgeprägt, dass die Eigenschaften des Raumes, sowohl in der Realität als auch in der Präsentation, erkannt und für den Wissenserwerb umgesetzt werden können.

Die Erforschung der Entwicklungsstadien der kognitiven Verarbeitung bildet Schwerpunkte bei Freud, Gesell und Piaget, um einige bedeutende Vertreter zu nennen. Während Freud nur die dominanten Merkmale (oral, anal, phallisch) unterscheidet, beruhen die Stadien nach Gesell auf dem Reifungsprozess. Dies garantiert eine gleich bleibende Reihenfolge der kognitiven Entwicklung. Piaget fordert zwei notwendige Bedingungen: die konstante Reihenfolge der Entwicklungsstadien und die progressive Konstruktion dieser [Piaget 2003, S. 63 ff.], da zur Erkenntnisgewinnung offensichtlich Lernen durch Erfahrung gehört, also zusätzlich zu den sich entwickelnden inneren Strukturen ein Einfluss von außen stattfindet. So unterscheidet Piaget generell drei Entwicklungsstadien: die sensomotorische Periode, die Periode der Vorstellungsintelligenz und die Periode der formalen Operationen. Alle genannten Perioden gliedern sich in Teilperioden, die nach Piaget´s Beobachtungen unterschiedlichen Altersgruppen zugewiesen werden. Die sensomotorische Periode dauert bis ungefähr eineinhalb Jahre und umfasst in einer ersten Teilperiode (bis ca. neun Monate) die Zentrierung des Subjektes auf den eigenen Körper. In der folgenden Teilperiode wird darin die praktische Intelligenz objektiviert und den Bedingungen des Raumes angepasst. In der Periode der Vorstellungsintelligenz werden in der ersten Teilperiode im Alter von ca. eineinhalb bis zwei Jahren konkrete Operationen mit semiotischen Prozessen, wie Sprache und innere Bilder, kombiniert. Die zweite Teilperiode der Vorstellungsintelligenz bis ca. acht Jahren ist geprägt von den Anfängen konkreter Formen operatorischer Gruppierungen und die verschiedenen Arten ihrer Erhaltung. Die Periode der formalen Operationen mit elf bis dreizehn Jahren beinhaltet die Ordnung von Operationen und die Ausformung der allgemeinen Kombinatorik [Piaget 2003 S. 66 ff]. Demnach könnten 3D Elemente nach der zweiten Teilperiode, nach einem Alter von ca. eineinhalb Jahren, der sensomotorischen Periode als Präsentationsform eingesetzt werden, so bald die praktische Intelligenz des operationalen Verhaltens auf die Umgebungseigenschaften anpassbar ist, also erste Interaktionen mit der Um-

welt möglich sind. Das Verstehen von semiotischen Strukturen, die sowohl Sprache als auch Gestik oder Symbole umfasst, wird nach der Periode der Vorstellungsintelligenz, die einfache Formen nach ca. zwei Jahren und komplexere Formen, Operationen und Semiotik kombinieren und erhalten kann, ab dem achten Lebensjahr möglich. Hier ist also im Regelfall an einen ersten traditionellen Einsatz von Karten zu denken, wenn entsprechend verständliche Symbole, die ihre Entsprechung in der Realwelt darstellen, verwendet werden. Tatsächlich sind das Lernen, die Erkenntnisgewinnung und die kognitiven Prozesse nicht nur von einem starren sequentiellen Ablauf, sondern auch von den Entwicklungsfaktoren Reifung, Erfahrung der materiellen Umwelt, Wirkung der sozialen Umwelt und Selbstregulation (Äquilibration) abhängig. Grundsätzlich werden die Entwicklungsfaktoren von Piaget verwendet, um das sequentielle Verhalten der Erkenntnisentwicklung zu erklären [Piaget S. 95 ff]. In dieser geleisteten psychologischen Forschung der Erkenntnistheorie liegt nach Ansicht des Autors ein enormes Potential für die „naive“ Kartografie, die mit einfachster Semiotik versucht, eine effiziente Vermittlung raumbasierter Informationen zu ermöglichen. So liefern streng genommen die drei klassischen Entwicklungsfaktoren direkte Analogien zu den drei Dimensionen der Kommunikationstheorie, der technischen-, biologischen- und sozialen Dimension, und auch zu den Ebenen der kartografischen Kommunikation, der syntaktischen-, pragmatischen- und semantischen Ebene. Sowohl die Dimensionen der Kommunikationstheorie als auch die Ebenen der kartografischen Kommunikation sind Voraussetzung für einen klaren und unmissverständlichen Informationsaustausch.

Die Reifung ist für Piaget an der Intelligenzentwicklung beteiligt, da grundsätzlich keine angeborenen Ideen oder auch Logik existieren, sondern nur der Ansatz für eine fortschreitende „epigenetische“ Konstruktion. Die Reifung eröffnet der weiteren Entwicklung neue Möglichkeiten und Strukturen, die ohne Reifung nicht entstanden wären. Eine tatsächliche Verwirklichung der eröffneten Möglichkeiten wird erst mit den anderen Faktoren wie Übung, Erfahrung und soziale Interaktion umgesetzt.

Erfahrung, als Kontakt mit der Außenwelt, ist der zweite große klassische Entwicklungsfaktor, der in die drei Kategorien der einfachen Übung, der dinglichen Erfahrung und der logisch-mathematischen Erfahrung eingestuft wird [Piaget S. 98 ff]. Bei der einfachen Übung werden an natürlichen Objekten Handlungen vorgenommen, ohne dabei zwingend eine Erkenntnis zu erlangen. Vielmehr wirkt sich die einfache Übung positiv auf die Konsolidierung eines Reflexes oder komplexer Reflexgruppen aus. Die einfache Übung pendelt zwischen der Akkommodation an das Objekt, welche die einzige Quelle der Aneignungen mittels Objekteigenschaften ist, und Konsolidierung durch aktive Wiederholung. Erweiternd zu der einfachen Übung als Aneignung neuer Erkenntnis durch die Manipulation von Objekten wird die dingliche Erfahrung angeführt. Die Information wird dabei durch einen einfachen Abstraktionsprozess der Objekte selbst gewonnen. Die Abstraktion umfasst die Trennung von neu entdeckten und bekannten Eigenschaften, wobei die Neuen in die Informationsaufnahme fließen. Beispielsweise erlaubt dieser Abstraktionsprozess einem Kind das Gewicht eines Objektes zu entdecken und gleichzeitig die Farbe, Haptik oder Ähnliches außer Acht zu lassen. Letztlich wird die mathematisch-logische Erfahrung als wichtiger Faktor in allen Stufen der kognitiven Entwicklung, wo die logische Ableitung noch nicht möglich ist, angeführt. Die damit gewonnene Erkenntnis beruht nicht auf den physikalischen Eigenschaften des Objektes, sondern auf den Eigenschaften der an dem Objekt gebrachten Handlungen und den somit gewonnenen Entdeckungen. Beispielsweise entdeckt ein Kind, dass die Anzahl von Steinen in einer Reihe gleich bleibt, egal ob von links oder rechts aus gezählt wird. Ebenso bleibt die Anzahl gleich, wenn die Steine im Kreis angeordnet sind. Es wird also experimentell entdeckt, dass die Anzahl der Steine unabhängig von der Anordnung ist und somit wird eine logisch-mathematische Erfahrung gewonnen. Diese ist nicht dinglich, da weder die Ordnung noch die Summe direkt zu den Steinen gehört. Das Kind hat damit eine neue Beziehung zwischen der Handlung „Anordnen“ und der Handlung „Zusammenfügen“ entdeckt.

Der dritte Entwicklungsfaktor ist der Einfluss des sozialen Umfelds. Zwar kann das soziale Umfeld die Reihenfolge der kognitiven Entwicklung nicht verändern, aber hinsichtlich des durchschnittlichen chronologischen Alters können Verzögerungen oder Beschleunigungen je nach der kulturellen und erzieherischen Umwelt hervorgerufen werden. Für diese Einflüsse gilt dasselbe wie für die dingliche Erfahrung: diese können nur dann auf das Subjekt (Kind) einwirken, wenn die Fähigkeit der Assimilation gegeben ist und entsprechende Instrumente und Strukturen (einfache Vorformen, Wissen) für die Aufnahme der Wirkung vorhanden sind. Ein Lehrinhalt kann nur dann effektiv assimiliert werden, wenn dieser das Kind zu aktiver Rekonstruktion oder sogar Re-Invention animiert [Piaget S. 101]. Als Beispiel wird die komplexe Beziehung von Sprache und Denken angeführt: Zum einen spielt Sprache eine wichtige Rolle für die Verinnerlichung von Handlungen, wobei die Sprache nur einen Teil der symbolischen und semiotischen Funktion beansprucht. Die Gesamtheit der Repräsentationsinstrumente umfasst auch Vorstellungsbilder, Symbolspiele oder Zeichnen. Bei der Beziehung zwischen Sprache und logischer Operation wird festgestellt, dass die logischen Operationen auf Grund der Handlungskoordinationen sowohl ursprünglich tiefer liegen als auch in der Entwicklungschronologie früher vorkommen als die Sprache.

Diese drei klassischen Entwicklungsfaktoren, Reifung, Erfahrung und soziales Umfeld, erfordern wegen der Unzulänglichkeit bei der Intelligenzentwicklung eine Ergänzung mit dem Faktor der Äquilibration. Die Äquilibration oder Selbstregulierung wurde bei den zuvor angeführten Faktoren impliziert. Äquilibration besteht aus einer Reihe von aktiven Reaktionen des Subjektes auf externe Störungen unterschiedlicher Wirksamkeit. Diese Selbstregulierung ist also ein Erklärungsfaktor, der auf einem Prozess mit zunehmenden sequentiellen Wahrscheinlichkeiten beruht. Beispielsweise hilft Äquilibration bei der Erklärung folgenden Phänomens: Ein Kind leugnet anfänglich, dass bei Verformung einer Tonkugel zu einer länglichen Wurst die Tonmenge in dieser Transformation erhalten bleibt. Schließlich wird aber doch die notwendige Erhaltung der Tonmenge festgestellt. Im Ablauf von der Leugnung bis zur letzten Feststellung werden verschiedene Schritte der Äquilibration als eine Folge der Selbstregulierung durchgeführt, worin der jeweils vorangehende Schritt wegen verändernder Wahrscheinlichkeit berichtigt wird.

Piaget zeigt mit seinem detaillierten Werk eine interessante Abfolge für die kognitve Entwicklung, die besonders für die kartografische Informationsaufbereitung und -vermittlung dienlich ist. Mit der zeitlichen Chronologie lassen sich entsprechende Präsentationsformen altersbedingt gestalten, sodass der Inhalt den zu erwartenden Aufnahme- und Verarbeitungsleistungen entspricht. Grundsätzlich kann unter diesem Aspekt für 3D Elemente in der digitalen Kartografie argumentiert werden, da schon in der sensomotorischen Periode der Umgang/die Bewegung im Raum erlernt wird. Zugleich ist die Fähigkeit, logische Operationen oder semiotische Übersetzungen auszuführen in diesem Stadium noch nicht vorhanden. Viele symbolische Darstellungen können demnach hier noch nicht zugeordnet werden. Andererseits, basierend auf den klassischen Entwicklungsfaktoren Reifung, Erfahrung und soziales Umfeld, werden räumliche Wahrnehmungen erst mit fortschreitendem Alter modifiziert. Das Fehlen der mathematisch-logischen Funktionen oder selbst der dinglichen Erfahrungen verhindern eine Assimilation vom virtuellen (kartografischen) Raumerlebnis. Beispielsweise können in der dreidimensionalen Welt mit ihren unzähligen Maßstäben keine Vergleiche zwischen identen Elementen durchgeführt werden, da die Erfahrung und auch die Analogie mit der Realwelt fehlt. Unabhängig von dem benötigten Vorwissen und den Erfahrungswerten billigt Piaget den exploratorischen Wahrnehmungstätigkeiten für das Herstellen von Beziehungen und Zusammenhängen große Bedeutung zu [Piaget S. 88]. Auch Wahrnehmungsaktivitäten werden mit fortschreitendem Alter modifiziert und gliedern sich grundsätzlich in Stadien, wenn auch nicht so strikt wie in der kognitiven Entwicklung. Beispielsweise lässt sich bei identen Versuchspersonen, die den Test der Rautentäuschung (Unterschätzung der Hauptdiagonalen) durchführen, nach 20 bis 30 Mal ein Lerneffekt auf Grund effizienterer Wahrnehmungstätigkeit mit zunehmendem Alter beobachten. Übersetzt man diese Beobachtungen in die Gestaltung virtueller kartografischer Umgebungen, so muss

dem Aspekt der Wahrnehmung mindestens ebensoviel Bedeutung zugemessen werden, wie der kognitiven Verarbeitung. Der Wahrnehmungsprozess stellt neben der kognitiven Verarbeitung auch einen eigenen Lernprozess dar. Folglich bedeutet dies eine Trennung der technischen Ausformung menschlicher Sinneswahrnehmung und der psychologischen Strukturen, die so auch in der kartografischen Syntaktik berücksichtigt werden müssen.

2.3.3 Eine mögliche Trennung von Kognition und Perzeption

Der Übergang zwischen der kognitiven Wahrnehmung und dem Gedächtnis zu der technischen Informationsverarbeitung vollzieht sich grundsätzlich fließend, ohne klare Grenze. Die Prozesse der kognitiven Verarbeitung und Langzeitgedächtnisbildung wirken laut Kommunikationstheorie als individuelle Filter und sind für die weitere Verarbeitung von neuen Informationen notwendig (vgl. Abschnitt 2.1.6). Sie bilden die Grundlage für das semiotische Verständnis und etwaige Reaktionen des Rezipienten. Die technische Informationsverarbeitung basiert auf der technischen Lösung der Sinnesorgane und deren Eigenschaften bzw. Auflösungsverhalten. Übersteigt eine Informationsquelle das Auflösungsverhalten, dann kann keine eindeutige Zuordnung getroffen werden und in den weiteren psychologischen Prozessen wird ein entsprechendes Resultat erzielt. Beispielsweise wird die Auflösungsschwelle des Auges in Druckverfahren benutzt, um homogene Farbflächen zu erstellen. Obwohl die scheinbare Farbfläche aus einzelnen Punkten in vier Farben besteht, resultiert unsere Sinneswahrnehmung und kognitive Verarbeitung in einem homogenen Ergebnis. Der Grund liegt dabei in der bewussten Überschreitung des Auflösungsvermögens des Auges durch den „Drucker“. Die Punkte des Druckers sind so klein, dass diese ohne technische Hilfsmittel vom Auge nicht erfasst werden können. Die nahe liegendste Lösung für die kognitive Verarbeitung auf Grund der erlernten Erfahrungen ist die Erstellung einer homogenen Fläche. Die Technik des Sinnes beschreibt also bestimmte Grenzen, deren Unter- bzw. Überschreitung die Wahrnehmung und Wissensbildung stark beeinflussen. So sind die Wahrnehmungsergebnisse auch bei gleicher Technik und ähnlicher Auflösung (die Auflösung der menschlichen Sinne wird als statistisches Mittelmaß angegeben) des Sinnes durch das individuelle Gedächtnis/Wissen unterschiedlich.

Der visuelle Sinneskanal nimmt bei Menschen im Normalfall eine dominante Stelle ein. Auf Grund der menschlichen Entwicklung (Die Entwicklungsphasen von Piaget) und dem intensiven Umgang des menschlichen Gedächtnisses durch Handlungen mit der Umwelt, ist die Interaktion von Sinnestechnik und Kognition sehr komplex [Burgess et al 1999, Bruce et al 1990]. Zusätzlich bildet das räumliche Sehen und die darauf gründende Steuerung von Arm und Hand ein besonderes Maß für bildnerische Kommunikation, die bildnerische Gestaltung im Speziellen. In diesem Zusammenhang wird auch die Bezeichnung von kartografischer Semiotik als Sprache erklärbar, denn die symbolhafte Abstraktion von Gestaltungsinhalten zu Zeichen ist auch ein schrittweiser Übergang vom Zeichen zur Schrift. Beide Darstellungsformen behandeln gegenständliche Inhalte. Lediglich der Abstraktionsgrad und die Gesetzlichkeit der Zeichen- oder Symbolverbindungen sind verschieden. Mit höherem Abstraktionsniveau bezeichnet man dann die Darstellung als beziehungsflexibel, wodurch vielfältige Bedeutungen aus einem begrenzten Zeichen-Repertoire zusammengestellt und aufgerufen werden [Schmidbauer 2004, S. 31]. Neben der wissensbasierten Dekodierung reagiert der Mensch auch auf Abbildungsarchetypen, Bilder, deren Inhalte in unseren biologischen Instinkten hoch priorisiert werden. Abbildungsarchetypen sind also biologisch wichtige Reize, die ihre Wurzel in den Szenen des Kampfes und der Jagd, Sexualität, Bindung, Loyalität, Nahrung, Tiere und Umweltformen haben. Das Schönheitsempfinden, oder besser – der intuitive Reizanstoß, liegt in diesen biologisch relevanten Reizen, so genannten Schlüsselreizen [Schmidbauer 2004, S. 34]. Diese Schlüsselreize wirken direkt auf unsere affektive Verarbeitungsebene und aktivieren so positive und negative Emotionen, die wiederum durch Motivationsänderungen die Informationsaufnahme steuern. Ein Beispiel für Schlüsselreize sind Sinnbilder des „Bösen“. Obwohl der natürliche Sinngehalt und das Wesen

von Kauz, Fledermaus oder Wolf bekannt sind, wirken ihre Sinnbilder oft mit „Angst“ auf Menschen. Die Verbildlichung des „Dunklen“ und damit Bösen kann ganz leicht mit der Verletzbarkeit durch eingeschränkte Sinneswahrnehmung erklärt werden. Wenn nichts gesehen wird, kann sehr leicht auf die Nase gefallen oder mit dem Kopf gegen eine Mauer gelaufen werden. Aus diesen Umständen geht klar hervor, dass nicht nur die allgemeine psychologische Verarbeitung mit gegenwärtigem Wissen die Informationsaufnahme beeinflusst, sondern auch biologische Instinkte, die als Schlüsselreize in den Wissensbildungsprozess einfließen.

2.3.3.1 Die anatomische Mechanik des Raumbildes

Die visuelle Wahrnehmung setzt sich aus mehreren Stufen zusammen: Der Raumorientierung, der Form-Farb-Objekt-Erkennung und dem Gedächtnis. Grundsätzlich basieren optische Informationen auf Unterschiede in Helligkeit, Farbe, Form, Struktur und auf Positions- und Gestaltveränderungen in Raum und Zeit. Dabei erfolgt die Informationsaufnahme aus der Welt immer über eine Informationsauswahl durch gestufte Ordnungsprozesse, die sich auf aktive Selektion gründet. So werden die Informationen objektbezogen auf die invarianten Merkmale reduziert und eine Objektidentität gebildet. Aufmerksamkeitsmechanismen, wie emotionale Wirkungen, und das epochale Gedächtnis sind für diesen Prozess notwendig [Schmidbauer 2004, S. 71].

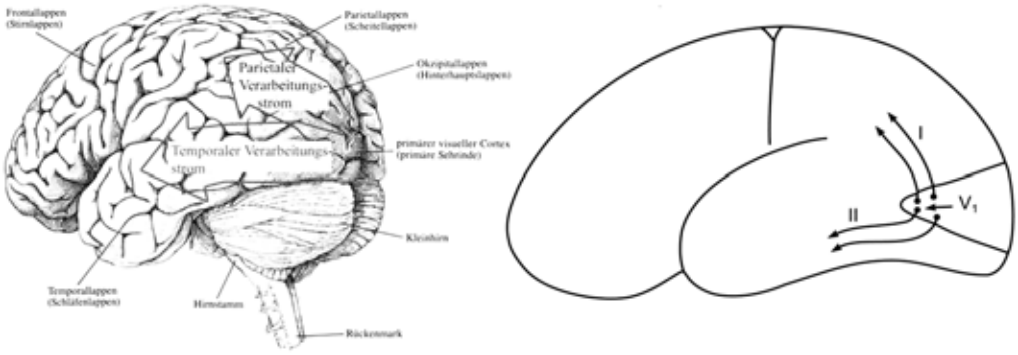


Abb. 2-26: Verarbeitungswege im Hirn. Schmidbauer 2004.

Die Raumorientierung gilt als Voraussetzung für die Objekterfassung und eine stabile visuelle Weltvorstellung, besonders weil die Bewegungen der Sensoren von Augen, Kopf oder Rumpf vielfältigst und oft gegensinnig ausgeführt werden. Sie gelingt letztlich durch den Aufbau eines „weltzentrischen“ Koordinatensystems vom Scheitellappen der rechten Gehirnhälfte mit seinen Bahnverbindungen zum Hinterhauptslappen und zum Hippocampus. Das Raumgedächtnis liegt im rechten Hippocampus und liefert dem rechten inferior-parietalen Cortex die Information, um eine direkte „Navigationsanweisung“ für Hand-, Kopf- oder Beinbewegungen herzustellen [Schmidbauer 2004, S. 72 Abs. 1].

Die Form-Farb-Erkennung von Objekten vollzieht sich in der mittleren und unteren Schläfenlappenwindung. Darin werden die visuellen Reize mit nicht-visuellen Qualitäten, wie Düften, Lauten oder auch Raumbeziehungen des Objektes, integriert und im Hippocampus zu einer globalen Ojekterfassung im Raum kombiniert. Diese Integration ist die wichtigste Voraussetzung für das kompositionelle Auffassen des Raumbildes [Schmidbauer 2004, S. 108 ff].

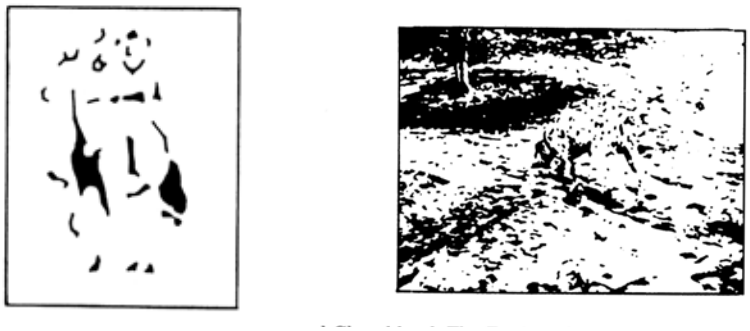


Abb. 2-27: Die Ergänzung von Bildern mit vorhandenem Wissen, Schmidbauer 2004.

Das Gedächtnis verantwortet sich unter anderem auch beim sicheren Empfinden eines Zeitgefüges, welches erst die kognitive Wahrnehmung szenischer Abläufe ermöglicht. Das Zeitempfinden stützt sich auf das Konstruktionsprinzip der so genannten „rekurrenten" Verbindungen im Nervensystem [Schmidbauer 2004, S. 115 ff]. Hier werden über Rücklaufschleifen bekannte Informationen mit den neuen Eingängen verknüpft. Unschlüssige Sinneseindrücke werden so mit dem Erinnerungsspeicher des Instinkts und der Erfahrung ergänzt, um die wahrscheinlichste Bedeutung der neu aufgenommenen Information zu ermitteln. Dabei gilt zusätzlich der Einfluss der emotionalen Wertigkeit, die Inhalte mit stärkerem Emotionsbezug auch stärker und länger im Gedächtnis zu verankern. Ein Raumbild, ein Merkmal oder nur eine Assoziation verankert sich als Episode mit zeitlichen, räumlichen, mimischen, gestischen und affektiven Verknüpfungen, welche von Erfahrungen überlagert werden. Daraus bildet sich die Erinnerung und gelangt so kontextbezogen episodisch in den Langzeitspeicher. Aus mechanisch anatomischer Sicht wird der Datenumfang eines Erinnerungsinhaltes durch Impulszirkulation und gegenseitige Induktion der doppelläufigen Verbindungen zwischen Neocortex und dem episodischen Gedächtnisspeicher des Hippocampus ausgebaut und erweitert. So werden Erinnerungen andauernd modelliert und modifiziert.

2.3.3.2 Schaltplan der Raumwahrnehmung

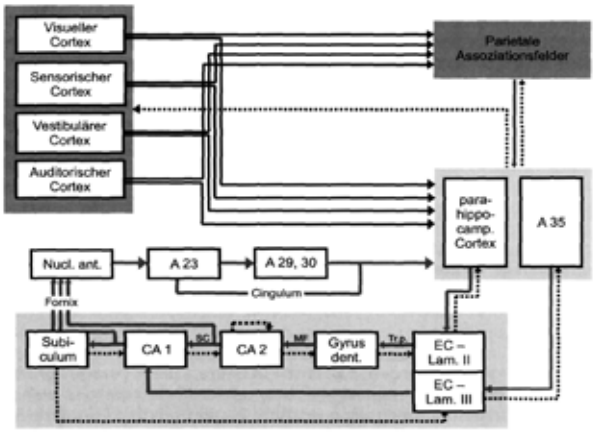


Abb. 2-28: Schaltplan visueller Verarbeitung; Schmidbauer 2004.

Der hochaktive Vorgang des Sehens hält gegenständliche Merkmale der Realwelt im Fokus der Aufmerksamkeit und nimmt auf diese Weise permanent Wert- und Bedeutungsprüfungen vor. Ständig werden invariante Merkmale in der endlosen Vielfalt von Sinnesreizen nach Bedeutungen und Beziehungen ihrer Inhalte durchsucht. Dabei bilden sich manche Merkmale der äußeren und inneren Welt als bedeutungs- und beziehungskonstant ab. Diese werden daher als Begriffe der individuellen Semiotik in Form von Sprache und Zeichen in Schrift und Bild konserviert. Das zentrale visuelle System überträgt die zweidi-

mensionalen Abbildungen der Netzhaut und macht deren Inhalt für den Organismus als dreidimensionale Objektwelt ableitbar. Die Aufzeichnung der optischen Eindrücke aus der Realwelt basiert dabei immer auf einer Datenauswahl, die durch die zielgesteuerte Blickbewegung und gestuften Ordnungsprozessen durchgeführt wird. Aufmerksamkeit und emotionale Wertungen sind für diesen Prozess entscheidend.

Nach gegenwärtigem Wissensstand der Neurologie folgt die Verarbeitung der zweidimensionalen Netzhautbilder diesem geschilderten Ablauf [Schmidbauer 2004, S. 102 f, Zeki 1999, Baumgartner et al 1978, Gregory 2001]: Die erste Analyseinstanz und zentraler Empfänger der Netzhautbilder ist das Visualfeld V1 (Area 17 nach Brodmann) im Gehirn. Von dort werden die optischen Eingangsfelder an die umgebenden visuellen Assoziationsfelder, die eine Spezialisierung für weitere Detailaufgaben der vertiefenden Analyse aufweisen, verteilt (sie werden als V2 bis V5 bezeichnet und entsprechen den Brodmann Arealen 18 und 19). Die Kompetenzen in diesen Arealen, die die Informationen direkt von V1 oder indirekt von den Rindenstreifen bekommen, sind streng aufgeteilt. Subdivisionen von Neuronen reagieren nur auf die Farbe, während andere nur auf die Richtungscharakteristik eines Stimulus, auf farbige Reize formselektiv oder auch bewegungsselektiv ansprechen. So werden bei der Betrachtung von sinnlosen vielfarbigen Oberflächen die Areale V1 und V4 aktiviert. Bei Betrachtung einer sinnlosen Oberfläche aus Schwarz-Weiß Kontrasten in Winkeln und Vierecken werden die Areale V1 und V5 aktiviert. So bestehen für viele Vorgaben unterschiedlichste Aktivierungskonstellationen, die grundsätzlich einer zeitlichen Hierarchie für die Perzeption folgen. Mit einer Größenordnung von Millisekunden vollzieht sich die strenge Abfolge von **Farbe** über **Form** bis zur **Bewegung**. Dabei sendet und empfängt jedes Visualfeld gleichermaßen. Die Vorstellung eines einbahnartigen Ablaufes gilt der einfacheren Veranschaulichung als Hilfskonstrukt. Störungen in den Arealbereichen führen dabei zu eingeschränkten Wahrnehmungsleistungen. Beispielsweise sind Personen mit einer Beschädigung der visuellen Assoziationsfelder unter Schonung von V1 nicht mehr in der Lage, visuelle Eingangsinformationen zu unterscheiden. Oder eine Läsion von V4 verursacht die Unfähigkeit, Farben zu sehen und zu verstehen. Eine Läsion in V5 verursacht die Unfähigkeit, bewegte Objekte aufzufassen [Schmidbauer 2004, S. 103]. Diese Störungen bringen die funktionelle Spezifität des visuellen Gehirns direkt zum Ausdruck. Zwar ermöglichen nicht nur die Areale V4 und V5 alleine die respektiven Leistungen von Farbsehen, Erfassen von Formen und Erkennen von Bewegungen, aber ohne diese Verarbeitungszentren sind diese Leistungen auch nicht möglich. Als Beispiel zur Bedeutung dieser Zentren können unterschiedlichste Beobachtungen, wie folgende Begebenheit, angeführt werden [Schmidbauer 2004, S. 111 ff]: Der Patient Mohamed aus Somalia wurde auf Grund eines „grauen Stars“ blind geboren. Er erwarb seine Vorstellungen von der dinglichen Realwelt durch Berührung und Tasten. Im Alter von acht Jahren ergab sich eine von allen Seiten der Angehörigen nachdrücklich eingeforderte Möglichkeit zu der Staroperation. Obwohl mehrere Spezialisten darauf hinwiesen, dass die Technik des Auges sehr leicht behoben werden könne, aber die erlernbaren Verarbeitungsprozesse des Sehens, die ebenso benötigt werden, das Gehirn höchstwahrscheinlich überlasten werden, wurde die Operation durchgeführt. Die Linse des Auges wurde ersetzt. Die Befürchtung der Spezialisten traf ein: die celebralen Lernvorgänge können nicht zu jeder beliebigen Zeit erlernt werden und so blieb der Patient zunächst „visuell funktionsunfähig“, obwohl die Technik des Auges intakt war. Er war verwirrt von den Eindrücken, die er mit seinen bekannten Begriffen nicht beschreiben konnte. Nach Monaten intensiven Lernens war es Mohamed möglich, ein paar wenige Gegenstände zu erkennen. Seine visuelle Erinnerung blieb aber unverlässlich und wenig dauerhaft. Die visuellen Reize wurden nicht oder nur wenig ins Langzeitgedächtnis übernommen.

Der aktuelle Forschungsstand der Neurologie und Hirnforschung öffnet uns die Blackbox Gehirn und ermöglicht uns Einblicke in den Funktionsablauf dieses Organs. Für eine kartografische Betrachtung bildet sich in diesem Bereich der Schnittpunkt von Technik und Psychologie. Mit den neurologischen Schilderungen der letzten Absätze, der anatomischen Mechanik und dem Schaltplan des Gehirns können wir

einen dreistufigen Prozess der Raumwahrnehmung formulieren, der durch seine anatomische Formalisierung (Objektwahrnehmung im Bereich V1 und V5 usw.) syntaktische Anpassungen der Präsentationsmethode notwendig macht. Beispielsweise liefert die Folge der Informationsverarbeitung in den Assoziationszentren, von Farbe zu Objekt und Bewegung, eine Signifikanzhierarchie für einen notwendigen Generalisierungsprozess bei der Informationsaufbereitung. Der Raumwahrnehmungsprozess besteht somit aus der Projektionsaufnahme der externen Welt auf der Netzhaut, der neurologischen Verarbeitung der Assoziationszentren im Gehirn und folgenden kognitiven Prozessen.

Die kognitiven Prozesse verantworten sich bei der Gedächtnis- und Wissensbildung auf Grund verarbeiteter Informationen. Damit wird das interne Abbild der Welt (des Weltwissens) gebaut und für weitere Verarbeitungen verwendet. Präsentationen virtueller Welten mit ihrem immersiven Informationswert haben das Potential, direkten Einfluss auf das individuelle Weltwissen mit der Bildung von scheinbarer Realität zu nehmen. Der immersive Informationswert bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Eindruck und das Extrakt der virtuellen Welt von der realen Welt für den Rezipienten kaum unterscheidbar ist und somit als erlebte Episoden in das Weltwissen einwirken. Aus dieser Situation heraus werden Abhängigkeitsverhalten bzw. Suchtverhalten zum virtuellen Erleben wegen mehrfach auftreten der Belohnungsreize beobachtbar [Sucht1], man spricht von so genannen stoffungebundenen Verhaltenssüchten [Sucht2].

Die neurologische Verarbeitung in den Assoziationszentren des Gehirns liefert eine Prioritätenfolge der Informationsverarbeitung, die bei der kartografischen Informationsaufbereitung berücksichtigt werden soll. Die Hierarchie Farbe-Form-Bewegung bedeutet, dass die Prioritäten des Generalisierungsprozesses entsprechend gesetzt werden müssen, um die Informationsübertragung zu verbessern. Wenn die Generalisierung die Hierarchie des Gehirns unterstützt, dann wird die Verarbeitung effizienter. Wird die Hierarchie nicht eingehalten, dann wird die Information zunächst „sortiert“ bzw. ein langsamerer Prozess „blockiert“ bei entsprechender Informationsüberflutung einen schnelleren.

Sowohl die kognitiven Prozesse als auch die Informationsverarbeitung in den Assoziationszentren führen zu „falschen“ Kommmunikationsergebnissen bzw. zur individuellen, mit eigenem Weltwissen ergänzten, Interpretation des Gesehenen, wenn die Projektionsaufnahme der externen Welt auf der Netzhaut nicht den technischen Anforderungen der Sinneszellen entspricht. Die Sinneszellen auf der Netzhaut mit ihrer Charakteristik und Verbindung ins Gehirn liefern die zentralen Parameter, die für die gesteuerte Informationsaufnahme bedeutend sind.

2.4 Physiologische Eigenschaften der visuellen Sensorik als menschlicher Parameter der Informationstiefe

Die menschliche visuelle Sensorik ermöglicht die Aufnahme von Bildern über projizierte Lichtelemente. Diese Aufnahme ist durch die Eigenschaften der einzelnen Bestandteile des Sehapparates bestimmten Einschränkungen unterworfen, die in Ihrer Summe entscheidenden Einfluss auf die Verwendung von Farbe, Formen, Muster und Größen als Gestaltungsmittel in virtuellen kartografischen Umgebungen haben. Der Aufbau des Sehapparates, also die menschliche Physiologie des Auges, gibt Auflösungsparameter vor, die von einer grafischen Darstellung auf einem Übertragungsmedium mit verschiedenen resultierenden Konsequenzen über- oder unterschritten werden können.

2.4.1 Die Lichtwahrnehmung

Die Wahrnehmung von Licht ist die zentrale Aufgabe des menschlichen Sehapparates. Aus registrierten Lichtelementen (Fotonen) werden die Bildelemente abgeleitet. Somit ist die Lichtwahrnehmung, die besonders für die Erkennung von Hell-Dunkel und Farbinformationen zuständig ist, indirekt auch für die Aufnahme von Formen, Muster und Größen verantwortlich [Henning 2000].

2.4.1.1 Linse und Glaskörper

Neben der Schutzhülle des Auges, der Hornhaut, besteht dieses aus der Linse und einem nachgeordneten Glaskörper. Linse und Glaskörper haben die Aufgabe, die einfallenden Lichtstrahlen auf die Retina, die Netzhaut, zu fokussieren. Auf Grund der optischen Physik ergeben sich für unterschiedliche Lichtwellenlängen unterschiedliche Brechungsindexes und damit die notwendige Änderung der Brennweite der Augenlinse, um das Bild scharf auf der Retina abzubilden. Dieser Effekt, der als Dispersion bezeichnet wird, ist im roten Bereich am größten und im blauen Bereich am geringsten. So führt eine abwechselnde Betrachtung eines Bildes mit roten und blauen Bereichen zu einer fortwährenden Änderung der Linsenkrümmung und so zu einer schnellen Ermüdung des Auges (der Augenmuskulatur). Ein verwandter Effekt, die Chromostereopsie, lässt reine Farben gleicher Entfernung vom Auge in subjektiv unterschiedlichen Entfernungen erscheinen. Rote Objekte liegen dabei am nächsten, während reines Blau im Mittel vor der Retina fokusiert wird. Ein blaues Schild erscheint daher bei Nacht unscharf. Grundsätzlich absorbiert das optische System des menschlichen Auges am blauen Ende des Farbspektrums stärker als am roten Ende, wobei dieser Effekt mit zunehmendem Alter zunimmt.

2.4.1.2 Retina

Die Retina, auch Netzhaut genannt, besteht aus Fotorezeptoren, die Lichtelemente (Fotonen) absorbieren und ihre zeitliche Anhäufung/Dichte in elektrische Signale umwandeln. Diese Signale werden anschließend an das visuelle Verarbeitungszentrum V1 und dessen Assoziationszentren im Gehirn geleitet. Die Fotorezeptoren können grundsätzlich in zwei Kategorien eingeteilt werden: in die farbblinden, aber empfindlicheren Stäbchen und die farbsensitiven Zapfen, wobei die Stäbchen vornehmlich im Randbereich der Retina und die Zapfen im zentralen Bereich vorkommen. Somit ist das Auge bei geringer Beleuchtung im peripheren Bereich empfindlicher und forciert so das „Sehen aus dem Augenwinkel“.

Die farbempfindlichen Zapfen weisen drei spektrale Empfindlichkeiten auf und kategorisieren sich so in blauempfindliche, grünempfindliche und rotempfindliche Zapfen. Die blauempfindlichen Zapfen sind zu ca. 4% vertreten und erreichen eine maximale Empfindlichkeit bei einer Wellenlänge von 430 nm. Innerhalb der Zapfen sind diese eher peripher angeordnet. Von den grünempfindlichen Zapfen gibt es ca. 32% bei einer maximalen Empfindlichkeit bei 530 nm und zentraler Anordnung. Die rotempfindlichen Zapfen liefern eine maximale Empfindlichkeit bei 560 nm mit einem Gesamtvorkommen von ca. 64% und der mittleren Anordnung vom Zentrum. Zusätzlich ist die Sehschwelle der rotempfindlichen Zapfen, also die minimal wahrnehmbare Lichtstärke, wesentlich geringer als bei blauempfindlichen Zapfen. Das empfindlichste Zentrum der retinalen Zapfenverteilung nennt sich Gelber Fleck (Fovea Centralis). Aus diesen Eigenschaften der Lichtwahrnehmung ergeben sich einige Richtlinien für die Verwendung von Farben.

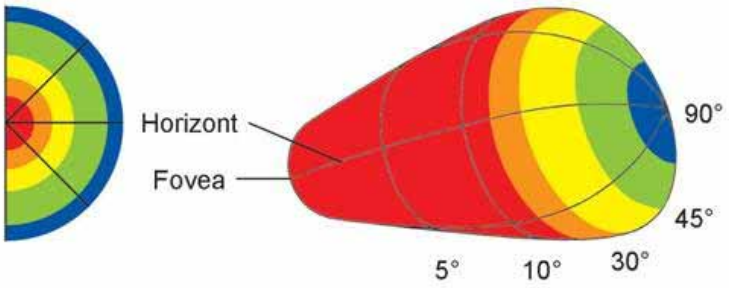


Abb. 2-29: Foveale Repräsentation im visuellen Kortex. Obwohl die Fovea im Gesichtsfeld (links) nur einen kleinen Bereich von ca. 2 Grad einnimmt, beansprucht sie einen großen Teil der Neurone im Kortex(rechts), Gegenfurtner 2001.

2.4.1.3 Richtlinien für die Farbwahrnehmung

Mit den beschriebenen Eigenschaften des Sehapparates ist dieser in der Lage, 128 verschiedene Farbtöne, 130 verschiedene Farbsättigungen und zwischen 16 (im blauen Bereich) und 26 (im gelben Bereich) verschiedene Helligkeitswerte aufzunehmen. Die Gesamtzahl der wahrnehmbaren Farben beschränkt sich somit auf 380000. Fordert man allerdings eine 95%ige Sicherheit für die Unterscheidbarkeit gleichzeitig dargestellter Farben, dann reduziert sich die Zahl auf ca.15!

Grundsätzlich führen die folgenden Situationen zu Schwierigkeiten: Die gleichzeitige Darstellung mehrerer gesättigter Farben aus unterschiedlichen Bereichen des Spektrums führt zum Ermüden des Auges. Texte, dünne Linien oder kleine Formen, die in reinem Blau gehalten werden, führen zu schwer lesbarem Inhalt, da im Zentrum der Retina keine blau-sensitiven Zapfen zu finden sind. Ebenso führt die Verwendung von Rot und Grün in der Peripherie größerer Bilder und Anzeigen zu Problemen, da diese empfindlichen Bereiche eher im Zentrum vorkommen. Der Einsatz von roten Zeichen vor blauem Hintergrund führt, wie die Verwendung benachbarter Farben, die sich nur im Blauanteil unterscheiden, oder Farbe als alleiniges Unterscheidungsmerkmal auch zu schnellem Ermüden des Auges. Generell ist zu beachten, dass ältere Benutzer eine höhere Lichtintensität benötigen, die Farbwahrnehmung abhängig vom Umgebungslicht ist und das Auge bei gesättigten Farben weniger empfindlich für Farbtonunterschiede ist [Henning 2000].

2.4.2 Das monokulare geometrische Auflösungsvermögen

Die Retina spielt neben der Farbregistrierung auch eine wichtige Rolle bei der geometrischen Signalverarbeitung, denn die Photorezeptoren sind zur Kontrasterhöhung untereinander verknüpft. Die hoch empfindlichen Stäbchen sind hierbei wichtiger als die Zapfen. Dementsprechend erscheinen Kanten, die nur aus Farbunterschieden gebildet werden, unscharf. So sind für die Kantendetektion die Helligkeitsunterschiede wichtiger als Farbunterschiede. Zusätzlich zu den Helligkeits- bzw. farblichen Differenzierungen liefert die physische Auflösung der Retina weitere perzeptive Schwellen für die visuelle Wahrnehmung von Größe, Form und kleinsten Abstand von graphischen Elementen. Spiess [Spiess et al 2002] stößt in seinen Untersuchungen auf ein Auflösungsvermögen des Auges von ca. 0,2 mm bei einem Leseabstand von ca. 30 cm. In der Zone des schärfsten Sehens, der Fovea, haben die Zäpfchen auf der Retina einen physikalischen Durchmesser von 0,0015 mm. Daraus ergibt sich, dass Elemente mindestens 0,002 mm auf der Netzhaut auseinander liegen müssen, damit diese als getrennt erfasst werden können. Diese Werte beziehen sich allerdings auf die stereoskopische Sehschärfe. Steht nur ein Auge zur Verfügung, beträgt die monokulare Sehschärfe nur etwa 30“, statt der 5“ bis 10“ der stereoskopischen Seh-

schärfe [Albertz 1977], also bei ca. 30 cm Betrachtungsabstand nur 0,004 mm. Aus diesen Werten können die Minimaldimensionen für Punkt-, Linien- und Flächensignaturen abgeleitet werden, um die Lesbarkeit auf unterschiedlichsten Medien sicherzustellen bzw. ein Maß für homogene/glatte Elemente in der Darstellung anzunehmen (vgl. Kapitel 3). Beispielsweise erfordert die „glatte" Darstellung von digitalen Strichgrafiken auf dem Übertragungsmedium Papier eine Auflösung von ca. 1200 dpi (Dots Per Inch), d.h. die Treppenartefakte von schrägen Linien sind mit dieser Auflösung nicht mehr erkennbar. Bei der Ermittlung der Wahrnehmungsgrenzen am Bildschirm fließen zusätzlich die Bildschirmgröße, die Pupillenweite in Abhängigkeit/Funktion der Helligkeit, die körperliche Verfassung des Benutzers und der Betrachtungswinkel als einflussnehmende Größen mit ein [Frick et al 2001, Neudeck 2001].

2.4.3 Das stereoskopische Auflösungsvermögen - die physiologische Tiefenwahrnehmung

Neben den physischen Eigenschaften des einzelnen Auges und dessen Auflösungsverhalten stehen beide Augen in einer geometrischen Beziehung, die die Tiefenwahrnehmung ermöglicht. Aus dieser Beziehung ergeben sich die so genannten physiologischen Tiefenwahrnehmungsparameter. Deren Eigenschaften liefern weitere Auflösungsbegrenzungen für die Erfassung des Raumes. Die physiologischen Tiefenwahrnehmungsparameter bestehen aus der Akkomodation, Konvergenz, binokularen Disparität und der Bewegungsparallaxe [Kirschenbauer 2003, S. 30 ff, Albertz 1997, S. 97 ff].

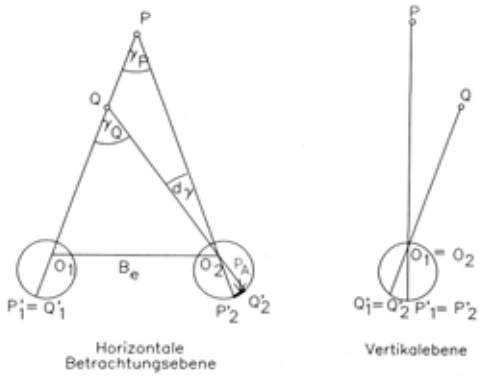


Abb. 2-30: Physiologische Parameter des räumlichen Sehens, Kraus 1994, S. 166.

Bei der *Akkomodation* wird die Linsenwölbung zum Zwecke einer scharfen Abbildung auf der Retina durch Tonuswechsel des Ziliarmuskels verändert. Dabei wird der dioptrische Apparat des Auges angepasst und der Linsenbrechwert geändert. Das scharfe Sehen von Objekten in unterschiedlichen Entfernungen wird somit ermöglicht. Dieser Mechanismus dient jedoch nicht zur Entfernungsabschätzung, da die Spannung des Ziliarmuskels nicht quantifiziert werden kann.

Mit der Akkomodation verbunden ist die *Konvergenz*, die die Sehstrahlen beider Augapparate im fokussierten Objekt zum Schnitt bringt. Der Konvergenzwinkel tritt dabei zwischen den sich schneidenden Sehachsen auf. Durch die Schnittpunktlage im Zielobjekt ergibt sich eine mehr oder weniger starke einwärts gerichtete Drehung der Augen.

Zusammen mit der Konvergenz kommt die *binokulare Disparität* zum Tragen. Dadurch werden die Lageunterschiede zwischen den Abbildern (bzw. zwei Punkten) auf der Netzhaut quantifiziert. Diese Parallaxe der Lage eines Punktes wird für die Entfernungsbestimmung des Punktes herangezogen und hängt so mit dem Auflösungsverhalten des Auges zusammen.

Ergänzend vermittelt die *Bewegungsparallaxe* vergleichend Tiefeninformation von bewegten Objekten. Dabei werden Unterschiede in der Bewegungsgeschwindigkeit von verschiedenen Punkten identifiziert

und so die relative Entfernung von den Raumpunkten zum Betrachter zugeordnet. Es wird die Verschiebung der proximalen Reize auf der Retina ausgewertet.

Die geometrische Auflösung der Tiefeninformation hängt besonders von der binokularen Disparität und der Konvergenz ab. Die binokulare Disparität, als Grundlage des stereoskopischen Sehens, funktioniert bis zu einer Entfernung von dreißig Metern in der Realwelt. Größere Distanzen werden vom Auge nicht mehr aufgelöst. Der optimale Bereich für stereoskopisches Sehen liegt bei ca. zehn Metern [Ware 2000]. Ebenso ist die Auflösung des Konvergenzwinkels zwischen den Sehachsen begrenzt. Ist ein Objekt weit vom Auge entfernt (ab 30 m), wird der Winkel so klein, dass ein Unterschied der Punktlage auf der Netzhaut nicht mehr festgestellt werden kann (binokulare Disparität) und die Sehstrahlen als „parallel“ wahr- und angenommen werden. Der Unterschied der Punktlage kann optisch nicht mehr aufgelöst werden [Poggio 1987]. Konkret beträgt der kleinste noch wahrnehmbare Winkel $d\gamma = \gamma_P - \gamma_Q$ als das Auflösungsvermögen des räumlichen Sehens 5“ bis 10“, also 0,0006 mm bis 0,0012 mm auf der Retina bei 30 cm Betrachtungsabstand. Andererseits kann die Horizontalparallaxe p_a in der mit einer bestimmten Augenbasis B_e bestimmten Ebene nur bis zu einer Winkeldifferenz $d\gamma$ kleiner als 1,3 gon zu einem mentalen Raumbild verschmolzen werden [Kraus 1994, S. 167]. Wird dieser Wert überschritten, dann zerfallen der Hintergrund und der Vordergrund in zwei Bilder, d.h es kann nur der Vordergrund oder der Hintergrund scharf und in 3D wahrgenommen werden. Diese Situation lässt sich experimentell sehr leicht nachvollziehen.

Neben den Horizontalparallaxen, die in der Ebene mit der Augenbasis aufgespannt werden, werden senkrecht dazu die Vertikalparallaxen definiert. Die homologen Strahlen der Objektpunkte weisen auf der Retina keine Vertikalparallaxe auf. Es ergeben sich also beim natürlichen räumlichen Sehen keine Parallaxen senkrecht zur Augenbasis. Eine Entfernungsbestimmung erfolgt nur in der durch die Augenbasis aufgespannten Ebene [Kraus 1994, S. 167].

Die physiologischen Eigenschaften der visuellen Sensorik beim Menschen definieren die technologischen Rahmenbedingungen der Wahrnehmung. Diese beschreiben nur den technischen Aufbau des Sensorensystems und geben dadurch unterschiedlich auflösbare Informationstiefen vor. Wird der Informationsumfang überschritten und geht über das Auflösungsvermögen des Auges hinaus, dann versucht die weitergehende kognitive Verarbeitung mit vorhandenem individuellen Wissen ein „sinnvolles“ Ergebnis zu erzielen. „Individuell“ bedeutet aber, dass für eine breite Öffentlichkeit kein einheitliches Kommunikationsziel erreicht wird. Das Ergebnis der kognitiv verarbeiteten Information wird von Betrachter zu Betrachter divergieren und kann zu einem anderen Verständnis führen. Natürlich kann die Überschreitung des Auflösungsvermögens auch gezielt verwendet werden, um ein gewünschtes Ergebnis zu erzielen, wie beispielsweise in der Plakatwerbung, wo relativ große Druckpunkte zu einem Bild zusammengefügt werden. Wegen einer gewissen (größeren) Betrachtungsdistanz werden die einzelnen Punkte vom Auge nicht aufgelöst und somit zu einer homogenen Fläche verschmolzen. Das Grundwissen von homogenen Farbflächen ist „allgemein“ zugänglich, da dieses Wissen generell in den ersten Lebensmonaten erworben wird. Das Kommunikationsergebnis wird also generell in einer breiten Öffentlichkeit ident sein. Das Beispiel der Plakatwerbung fokussiert auf nur einen Teilbereich des Übertragungsmediums Papier, die großformatige Papierfläche. Mit neuartigen digitalen Übertragungsmedien werden immer mehr Medienarten mit unterschiedlichsten Eigenschaften und eigenem Auflösungsvermögen entwickelt. Oft liegt deren Auflösung unter jener des menschlichen Auges. Daraus können sich Interpretationsschwierigkeiten und divergierende Kommunikationsziele ergeben. Die unmissverständliche graphische Beschreibung räumlicher Phänomene und deren eindeutige Interpretation durch den Rezipienten wird dadurch erschwert. Oder aus anderer Sicht: die Übertragungsmedien benutzen bereichsweise die eingeschränkte Auflösung des menschlichen Auges. So wird von einigen Übertragungsmedien der Effekt der Chromostereopsie (die

Fokussierungsvarianz des Auges bei Rot und Blau) verwendet, um echte dreidimensionale Bilder beim Rezipienten zu erzeugen. Die visuellen Eigenschaften der menschlichen Sensorik bieten grundsätzlich genügend Möglichkeiten, um mit Übertragungsmedien die Realwelt zu imitieren und so dem Rezipienten ein immersives/naives virtuelles Raumerlebnis zu bieten. Andererseits zwingt das fokussierte Kommunikationsziel, mögliche Missinterpretationen und Unklarheiten in der graphischen Ausdrucksweise zu berücksichtigen. 3D Präsentationen verwenden vor allem bei der Vermittlung raumbasierter Information sowohl physiologische als auch psychologische Tiefenwahrnehmungsparameter, die im Weiteren für eine Klassifizierung der Übertragungsmedien herangezogen werden sollen. Somit müssen die kommunikationstheoretische Verwendung von 3D, die Leistungen der menschlichen Physiologie, aber auch die Eigenschaften und Leistungen des Übertragungsmediums klar definiert und bekannt sein, um diese Elemente gezielt im räumlichen Vermittlungsprozess einsetzen zu können.

2.5 Zusammenfassung der theoretischen Grundlagen

In diesem Abschnitt der theoretischen Grundlagen im Kontext der kartografischen Informationsvermittlung konnte die Bedeutung von dynamischen 3D Elementen und virtuellen kartografischen Umgebungen durch die allgemeinen Kommunikationstheorien, der ganzheitlichen Formulierung des kartografischen Kommunikationsprozesses, der Lerntheorien und der menschlichen Psychologie bei der räumlichen Wissensvermittlung sowie der Eigenschaften der visuellen Sensorik hervorgehoben werden.

Die allgemeinen Kommunikationstheorien legen für eine erfolgreiche Kommunikation drei Dimensionen fest, die soziale, biologische und technische Aspekte berücksichtigen. Damit werden Rahmenbedingungen auch für die Vermittlung räumlicher Informationen definiert, deren Befolgung ein Kommunikationsziel eher erreichen lässt. Im Kontext der visuellen Kommunikation wird die tradierte Betrachtung der Karte als Dokumentationsmittel und ästhetisches Abbild der „Erde“ zu einem Instrument der Geo-Kommunikation übergeführt. Es folgt demnach die Festlegung von Gültigkeitsbereichen der Kommunikation im Allgemeinen und der Geo-Kommunikation im Speziellen, die an der Schnittstelle des human-technischen Bereichs in der Massenkommunikation eingeordnet wird. Die bedeutendsten allgemeinen Kommunikationsmodelle und Informationstheorien zeigen ihre Einschränkungen gegenüber der kartografischen Anwendung und ihre generelle Verwendung. Sie resultieren in jedem Fall in den sechs grundsätzlichen Ordnungsrelationen der Kommunikation, die die Beziehungen der kommunikationstechnischen Grundgrößen Kommunikator, Aussage, Medium und Rezipient beschreiben. Will man sich im Weiteren auf die syntaktische Ebene der Geo-Kommunikation begeben, also eine kartografische Grammatik für 3D Elemente in virtuellen Welten beschreiben, dann wird das klare Verständnis des sehr breit verwendeten Begriffs Medium bedeutend, der nicht nur nach Technik, Material und Kommunikationsart klassifiziert wird, sondern auch in seine Bestandteile, dem Informationsträger und Informationsmittel, eingeteilt werden muss. Dieser intensive Umgang mit verschiedenen Medien verdeutlicht das geforderte Maß an Intelligenz, das bei diesem Kommunikationsprozess vonnöten ist. Wird den unterschiedlichen Definitionen von Intelligenz gefolgt, bildet sich dieser Begriff zu jener Größe, die für das „Kombinieren“ neuen Wissens und somit für das Verstehen der gerichteten Information im Vermittlungsprozess verantwortlich ist. Die Intelligenz ermöglicht dann auch den interaktiven Umgang mit anderen Systemen und die Bildung einer nachhaltigen Dynamik bei der Wissensakquisition. Die eingebettete Dynamik bei interaktiven Informationssystemen als direkter „Kommunikationspartner“ bietet eine scheinbare Bi-direktionalität im Kommunikationsprozess, da zwar auf Aktionen des Benutzers reagiert wird, aber das Systemwissen sich nicht erweitert. Aus der allgemeinen Sicht der Kommunikationstheorie mit all ihren Facetten wird der

Einsatz von 3D Elementen im Kommunikationsprozess unterstützt, da in sämtlichen Bereichen eine Unterstützung der Vermittlungsprozesse wahrscheinlich ist.

Die ganzheitliche Formulierung des kartografischen Kommunikationsprozesses modelliert den grundlegenden Ablauf bei der Vermittlung raumbasierter Informationen in unterschiedlichsten Modellstufen. Diese ganzheitliche Darstellung basiert auf der grundsätzlichen Betrachtung der Karte als Massenkommunikationsmittel. Damit wird, neben internen Rückkopplungsbereichen der Modellstufen, ein Kreislauf der kartografischen Kommunikation erreicht. Eine Akzeptanz dieser Darstellung führt zur Zuordnung von 3D Elementen im kartografischen Kommunikationskreislauf, die in sämtlichen Modellstufen in entsprechend verschiedenen Ausführungen, Genauigkeiten und Detaillierungen zu finden sind. Ebenso wird damit das komplexe Spektrum der Geowissenschaften mit seinen vielfachen Kompetenzbereichen zu den Modellstufen zuordenbar. Mit dieser Voraussetzung, umfassender Sichten der kartografischen Kommunikation mitsamt den Zuordnungen, werden kartografische Modellbildungen diskutiert. Dabei werden Fokussierungen auf Teilbereiche der einzelnen Modelle und überschneidende Kompetenzbereiche ersichtlich, die klare Abgrenzungen und Kooperationen erschweren. 3D Elemente sind im gesamten Kreislauf von Bedeutung und verhelfen zu kooperierenden Kompetenzen. So wird beispielsweise die 3D Analyse klar von der 3D Visualisierung getrennt sein, und wenn dies nur der effiziente Umgang mit grafischen Speicher-Ressourcen verursacht. Tatsächlich erfordert eine analytische Tätigkeit mit komplexen 3D Datensätzen entsprechende Aufbereitungsprozeduren (Modellbildung), um die Analyse des Datenmodells in das Informationsmodell überzuführen.

Die Lerntheorien und die menschliche Psychologie bei der räumlichen Wissensvermittlung erklären, ob 3D Elemente den Vermittlungsprozess unterstützen können oder ob diese in einer einfachen Überforderung der Rezipienten resultieren. 3D Umgebungen zeigen jedoch mit dem Kontext Lernen neue Aspekte, die es erlauben, Imitation und Evaluierung von gelernten Sequenzen vollständig in der virtuellen Welt durchzuführen. Die Effizienz dieser Präsentationsmethode kann dann gut mit der Abfrage des mentalen Benutzermodells oder empirischen Messmethoden gezeigt werden. Es entsteht dadurch die Erfordernis, die einfache Abbildung des Stimulus-Response Modells besser zu formalisieren und der Argumentation der „Reaktionskompetenz“ von Piaget zu folgen. Mit der Reaktionskompetenz erhalten Metaphern ihre große Bedeutung, die sowohl für die visuelle als auch funktionelle und strukturelle Analogie gebraucht werden. Metaphern, wie sie auch von 3D Elementen aufgebaut werden sollen, ermöglichen durch ihre Referenz zwischen Realität und individuellem Wissenskontingent die Kommunikation. Das Verständnis von Metaphern, und des Raumes im Allgemeinen, wächst mit der menschlichen Entwicklung, der Entwicklung der kognitiven Verarbeitung. Grundsätzlich nimmt 3D in diesem Aspekt entwicklungstechnisch einen sehr frühen Verständnisbereich wahr. Die Trennung von Kognition und Wahrnehmung zeigt die Grenzen der menschlichen Neurologie und die fixe Sequenz der kognitiven Entwicklung. Mit dem Schaltplan der Raumwahrnehmung kann zu den technischen Eigenschaften der visuellen Sensorik übergeleitet werden. Diese menschlichen Parameter bilden ein technisch-basiertes Maß der Informationsaufnahme und liefern so das mögliche Auflösungsvermögen. Dynamische 3D Elemente dringen mit ihren Eigenschaften besonders tief in die visuelle Sensorik ein, sowohl aus technischer als auch psychologischer Sicht. Es gilt, die semiotischen Grenzen bei der Vermittlung von und mit 3D Inhalten auf einer syntaktischen Ebene zu erarbeiten.

Mit den angeführten Argumenten erscheint es notwendig, näher auf die Eigenschaften der Übertragungsmedien einzugehen und mit deren Hilfe einen Wert für die Übertragungsqualität und Informationstiefe zu identifizieren. Erst dann kann entsprechend dieses Wertes im Kontext mit den Eigenschaften von 3D Welten und deren Elementen eine semiotische Struktur für virtuelle kartografische Umgebungen vorgeschlagen werden.

3 Geo-Medientechnische Rahmenbedingungen

Die digitalen Übertragungsmedien bringen gegenüber den herkömmlichen analogen Medien (Papier u.Ä.) neue Eigenschaften mit sich, die eine klare verständliche Kodierung der räumlichen Information beeinflussen. So werden Auflösungsgrenzen mit fixen medienabhängigen Parametern gebildet, die entweder vom visuellen Apparat wahrgenommen oder in der kognitiven Verarbeitung interpretiert werden. Der visuelle Apparat mit seinen Eigenschaften ist der Grenzwert für die klare Wahrnehmung einerseits und die wissensbasierte Interpretation andererseits, der von einem Übertragungsmedium über- oder unterschritten wird.

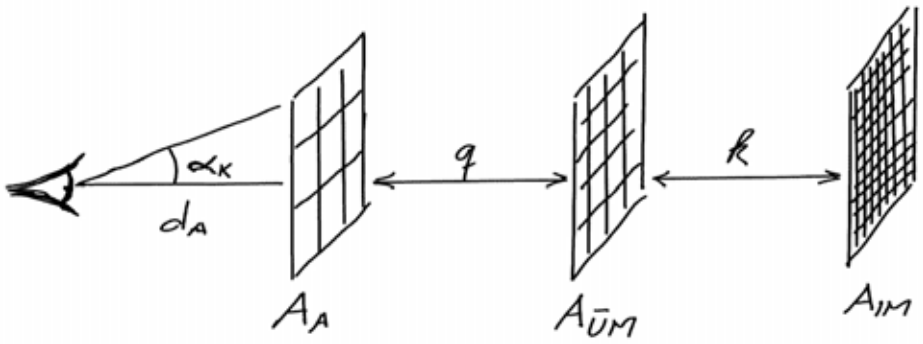


Abb. 3-1: Auflösungsbeziehung zwischen Auge, Übertragungsmedium und Informationsmittel.

Überschreitet die Auflösung eines Übertragungsmediums den Grenzwert des visuellen Apparates, dann wird auf Grund des individuellen Wissens eine Annahme/Vermutung erarbeitet, beispielsweise die Homogenisierung von Bildpunkten bei ausreichender Auflösung und Betrachtungsdistanz. Unterschreitet die Auflösung des Übertragungsmediums den Grenzwert, dann kann die Auflösungsstruktur (gemäß dem gegebenen Betrachtungsabstand) erkannt werden. Für die Verwendung kartografischer Symbolik bedeutet dieser Umstand, dass die Charakteristik jedes differenzierten Übertragungsmediums seine Auswirkung auf die Zeichensprache und verwendbare grafische Parameter hat. Diese Charakteristik wird besonders die „Feinheit" der darstellbaren Bildpunkte betreffen, da auch das Auge mit einer gewissen Auflösung behaftet ist. Aber auch die farbliche Gestaltung des kartografischen Inhaltes richtet sich nach dem menschlichen Auflösungsverhalten des Augenapparates.

Besonders deutlich können die veränderten Bedingungen für die Semiotik mittels herkömmlicher kartografischer Präsentationen und Bildschirmkarten aufgezeigt werden. Solange der Bildschirm für die Informationsübertragung nur ein Zwischenergebnis darstellte, konnten Qualitätseinbußen und eine schlechtere Auflösung dieses Mediums toleriert werden. Stellt der Bildschirm das letztliche Übertragungsmedium dar, dann müssen dessen Eigenschaften für eine effiziente Informationsübertragung berücksichtigt wer-

den. Grundsätzlich ergeben sich auf Bildschirmen gegenüber papierbasierten Übertragungsmedien diverser Drucktechniken geringere Darstellungsflächen, grundsätzlich größere Betrachtungsabstände und geringere Auflösungen. Die verminderte Auflösung resultiert in perzeptive Deformationen der Grafik und Schrift. Die Gestaltung des Inhalts muss also die Folgen dieser Bildstörung durch Bildverbesserungen, Berücksichtigen von Restriktionen und Festlegen von Mindestmaßen überwinden. Zusätzlich zu der elementweisen Deformation wird die Informationstiefe der Bildschirmfläche beschränkt sein und mehr Reduzierung des Inhaltes der kartografischen Darstellung erfordern. Lechthaler erarbeitete diesbezüglich eine Informationstiefe, die einem Maßstabssprung von 1-2 Stufen (beispielsweise bei 1:1 Mio auf 1:2 Mio bis 1:3 Mio) entspricht [Lechthaler 2006]. So entspricht wegen der verminderten Auflösung der Informationsinhalt einer Karte auf dem Bildschirm einem 2-3 fach kleineren Maßstab als das gedruckte Pendant mit derselben Ausdehnung.

Perzeptive Schwelle

Die technische Grenze des Übertragungsmediums einerseits und die physiologische Limitierung des Sehapparates andererseits bilden eine perzeptive Schwelle. *„Perzeptive Schwellen sind Größen, in denen Grafik gerade noch sinnlich wahrnehmbar und interpretierbar ist“* [Neudeck 2001, S. 10, Abs. 2]. Perzeptive Schwellen werden eingehalten, wenn eine bestimmte Mindestzeichengröße und der kleinste Abstand von Elementen zueinander nicht unterschritten und das Auflösungsvermögen des Sehapparates zumindest berücksichtigt wird. Der Einfluss der physiologischen Limitierung ist von der individuellen Physiologie abhängig und kann nicht allgemein gültig ermittelt werden [Schober 1964]. Ermittelte Werte können also nur empirische Mittel sein und sollten sich auf den maximalen Kontrast und eine Positivdarstellung beziehen.

Definition der Mindestdimension

Mindestdimensionen bezeichnen die kritische Größe grafischer Zeichen, *„...bei denen das menschliche Auge Form und Ausdehnung noch erkennen kann“* [Malić 1998, S. 72, Abs. 5]. Nach der Theorie beziehen sich Mindestdimensionen auf das Auflösungs- und Erkennungsvermögen des Sehapparates, wobei dessen Sehschärfe durch die einfache Trennschärfe, Noniussehschärfe, Formempfindlichkeit und minimale Lesezeichengröße näher beschrieben wird [Morgenstern 1999]. Die Trennschärfe wird rein theoretisch als so genannte anatomische, also monokulare, Auflösung mit einem Sehwinkel von 24“ abgeleitet und entspricht bei einem Betrachtungsabstand von 30 cm einem Auflösungsvermögen von 0,04 mm. Die Noniusschärfe bezeichnet die untere Grenze, mit der ein grafischer Versatz/Unterschied von zwei Linien erkannt wird. Dieser ist 3- bis 10-fach geringer als die einfache Trennschärfe, da unterschiedliche Stäbchen und Zapfen der Retina gereizt werden. Die Formempfindlichkeit von einfachen Zeichen ist um 2- bis 3-fach größer als die einfache Trennschärfe, da für eine Form mehrere Stäbchen/Zapfen für die Registrierung benötigt werden.

Dieser Abschnitt 3 erläutert den aktuellen Stand der Forschung bezüglich semiotischer Grenzen für 2D Darstellungen auf Bildschirmen, listet aktuelle Übertragungsmedien für digitale (3D) Inhalte auf und klassifiziert diese Übertragungsmedien hinsichtlich einer Verwendung für 3D Präsentationen. Die Problematik der semiotischen Grenzen für 2D Darstellungen auf Bildschirmen ermöglicht die technikbezogenen Parameter, die letztlich die grafische Aufbereitung beeinflussen, zu identifizieren, denn die Auflösung eines digitalen Bildes kann oftmals nicht direkt als Qualitätsmerkmal der Visualisierung am Bildschirm herangezogen werden. Gerätetechnische Eigenschaften überlagern die Datenqualität des Bildes. Aktuelle Übertragungsmedien gehen weit über die Technik des Bildschirmes hinaus und versuchen die

physiologische Tiefenwahrnehmung zu unterstützen. Damit ergeben sich weitere Veränderungen der Qualitätsparameter, die einerseits nur die grafische Darstellung betreffen, andererseits aber auch auf den kognitiven Prozess durch unterschiedliche Eindringlichkeit (Immersion) einwirken. Die Einwirkung des Übertragungsmediums auf den kognitiven Prozess erlaubt eine Klassifizierung dieser Medien, je nach Ausprägung und Unterstützung der menschlichen Tiefenwahrnehmung. Für die grafische Darstellung mit den grafischen Variablen (Farbe, Größe, Form, Intensität, Muster, Richtung) ist der Handlungsspielraum, also die semiotischen Grenzen des Übertragungsmediums, zu berücksichtigen.

3.1 Semiotische Grenzen für 2D Darstellungen auf Bildschirmen

Der Computerbildschirm gilt als das meist verbreitetste Übertragungsmedium für digitale Inhalte. Wenn auf digitale Information visuell zugegriffen werden soll, dann wird diese Technologie in unterschiedlichen Formen herangezogen (CRT, LCD, OLED, ...). Somit ist dieses Medium im Bereich der Internet- und digitalen Kartografie die zentrale Schnittstelle zwischen Mensch und Computer. Vergleichend zum analogen Medium Papier, wo die Auflösung des menschlichen Sehapparates mit den üblichen Betrachtungsdistanzen bei weitem überschritten wurde, liegen die Auflösungen von Bildschirmen je nach Betrachtungsdistanz teilweise unter dem Auflösungsverhalten des Auges. Damit die Inhalte einer Bildschirmkarte medienbedingt angepasst werden können und im Weiteren eine semiotische Richtgröße für 3D Kartografie verfügbar gemacht werden kann, wird es erforderlich, die Technologie des Übertragungsmediums (der Informationsträger) mit der Auflösung des Informationsmittels und dem Sehapparat in Verbindung zu bringen.

3.1.1 Bildschirmtechnologien

Die wichtigsten Parameter des transienten grafischen Ausgabegerätes mit additiver Farbmischung sind Bildschirmgröße, Bildseitenverhältnis, Auflösung des Bildschirmes, Adressierbarkeit, Punktabstand, Videobandbreite, Zeilenfrequenz und Bildwiederholfrequenz [Ibrahim 2007]. Die *Bildschirmgröße* wird mit der Bildschirmdiagonale angegeben. Dabei wird als Einheit Zoll verwendet. Das *Bildseitenverhältnis* (aspect ratio) beträgt traditionellerweise 4:3 oder 5:4, in neuen technischen Ausformungen immer öfter 16:9 oder auch 1:1. Die *Auflösung* des Bildschirmes wird als Anzahl unterscheidbarer Punkte oder Linien pro Längeneinheit in dpi (Dots per Inch) angegeben. Die *Adressierbarkeit* oder absolute Auflösung (die Auflösung des Bildes am Bildschirm) wird ebenso als Anzahl der individuell erzeugbaren Punkte oder Linien je Längeneinheit angegeben. Der *Punktabstand* bzw. Tripelabstand (pitch) entspricht dem Abstand der physikalischen Pixel einer Farbe auf dem Bildschirm, typischerweise ca. 0,21 bis 0,30 mm. Die *Videobandbreite* beträgt ca. 50 bis 250 Mhz, die *Zeilenfrequenz* ca. 30 bis 170 kHz. Die *Bildwiederholfrequenz* liegt bei ca. 48 bis 170 Hz und ist für ein statisches Empfinden des transienten Bildes verantwortlich, d.h. das sichtbare Bild des Bildschirmes ist genau genommen nicht statisch. Mit Hilfe der Bildwiederholfrequenz wird das Auflösungsvermögen des Auges überschritten und so ein kontinuierliches Bild vorgetäuscht.

Die wichtigsten Kategorien von Bildschirmbauweisen sind die Röhren- und LCD-Bildschirme, wobei sowohl die Röhrentechnologie als auch die LCD Technologie weitere unterschiedliche Verfahren verwenden. So werden beim Röhrenbildschirm verschiedene Lochmasken für die Bilderzeugung verwendet. Die Technologie des LCD Bildschirmes wird ebenso durch neue Entwicklungen, wie etwa OLED´s (Organic LED), erweitert bzw. abgelöst, wobei das Auflösungsverhalten durch die bildgebenden Elemente bislang nicht verändert wird.

3.1.1.1 Der Röhrenbildschirm

Ein Kathodenstrahlröhren-Bildschirm ist ein Bildschirm, der auf der Kathodenstrahlröhre von Ferdinand Braun basiert. Häufig wird er auch als Kathodenstrahl-, Röhren- oder CRT- (engl. Cathode Ray Tube) Bildschirm bezeichnet.

Das darzustellende Bild oder abzubildende Zeichen wird durch das gerade aktive Computerprogramm bestimmt. Der Grafikkartenprozessor errechnet dann das Bild in einer entsprechenden (in den Grafikeinstellungen eingestellten) Auflösung und Farbtiefe und legt es digital im Speicher der Grafikkarte ab. Da CRT-Bildschirme seit Einführung des VGA-Standards (1987) mit analogen Eingangssignalen arbeiten, wird das im Speicher liegende digitale Bild durch einen Digital-Analog-Wandler (RAMDAC) der Grafikkarte in analoge Signale umgewandelt. Diese analogen Signale (Helligkeit der 3 Farben sowie Zeilen- und Bildsynchronimpulse) werden dann über das VGA-Kabel zum Monitor geschickt.

In Farbmonitoren befindet sich ein Glaskolben, dessen sichtbare Frontseite im Inneren mit einer Leuchtschicht versehen ist, sowie drei negativ geladene Kathoden, eine positiv geladene Anode, eine Ablenkvorrichtung und eine Lochmaske. Jedes Pixel der Leuchtschicht ist in drei Leuchtpunkte aufgeteilt, die so genannten Tripel. Je ein Leuchtpunkt ist für die Farben Rot, Grün und Blau zuständig. Die Leuchtstoffe selbst werden oft Phosphore genannt. Es handelt sich heute jedoch nicht mehr um das chemische Element Phosphor, sondern um chemische Verbindungen, die Fluoreszenz zeigen und durch Elektronenbeschuss zum Leuchten angeregt werden.

An die Kathoden und die Anode wird Hochspannung gelegt (bis zu 25.000 Volt). Von der Kathode werden Elektronen mit hoher Geschwindigkeit in Richtung Anode abgegeben. Die Anzahl der Elektronen bestimmt dabei die Helligkeit eines Bildpunktes. Auf dem Weg von der Bildröhre zur Mattscheibe werden diese Elektronen durch ein Magnetfeld so abgelenkt, dass sie jeweils genau den gewünschten Punkt am Bildschirm treffen. Der Elektronenstrahl wandert hierbei von links nach rechts und aktiviert dabei die gewünschten Bildpunkte. Am Ende einer Zeile springt der Elektronenstrahl an den Anfang der folgenden Zeile zurück. Diese Bewegung (auch Rasterscannen genannt) wird, je nach eingestellter Bildwiederholfrequenz, immer wieder durchgeführt [Henning 2000].

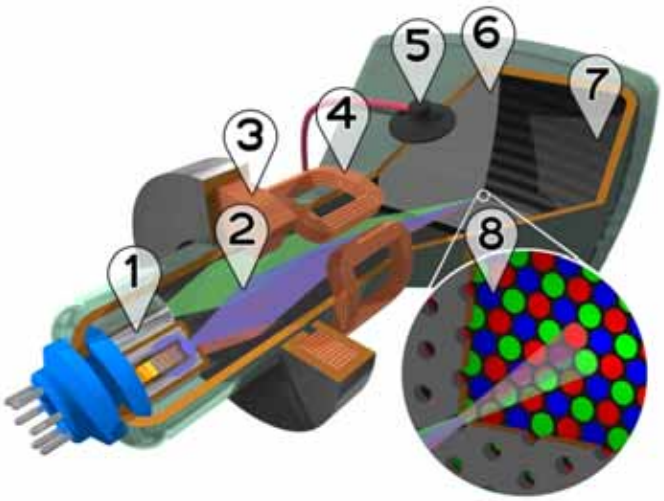


Abb. 3-2: 1.Glühkathoden, 2.Elektronenstrahlen, 3.Bündelungsspulen, 4.Ablenkungsspulen, 5.Anodenanschluss, 6.Lochblende, 7.Phosphorschicht mit roten, grünen und blauen Subpixeln, 8.Nahansicht der phosphorbeschichteten Innenseite des Bildschirms, Quelle: Søren Peo Pedersen, Wikipedia.

Die tatsächliche Auflösung des Übertragungsmediums CRT hängt von der Sichtbarmachung der Strahlen ab – also von den verwendeten Masken der Mattscheibe.

Die Lochmaske wird verwendet, um die drei getrennten Elektronenstrahlen für die Farben Rot, Grün und Blau unabhängig voneinander beleuchten zu können. Hinter der Leuchtschicht befindet sich die Lochmaske. Da die Strahlen aus leicht unterschiedlicher Richtung auf die Maske auftreffen, ist es möglich, nur jeweils die gewünschte Farbe der Leuchtschicht anzuregen.

Eine Lochmaske ist ein dünnes Metallgitter, welches in Farbbildröhren etwa 20 mm hinter dem Bildschirm angebracht ist. Die Lochmaske besitzt so viele Löcher, wie Farbtripel auf dem Bildschirm vorhanden sind. Die drei Elektronenstrahlen treffen gemeinsam durch dasselbe Loch auf das zugehörige Leuchttripel (blau, grün, rot). Die Elektronenstrahlen sind für alle drei Farben gleich, kommen jedoch aus leicht unterschiedlicher Richtung, da die Elektronenkanonen im Röhrenhals im Dreieck bzw. bei Schlitzmasken nebeneinander (in-line bzw. „Trinitron“) angeordnet sind. Die Lochmaske schattet aus der jeweiligen Richtung die „Phosphore“ mit den falschen Farben ab, d.h. sie verhindert, dass z. B. der Elektronenstrahl für Rot die Stellen auf der grün leuchtenden Phosphorschicht trifft. Die Lichterzeugung erfolgt durch das Auftreffen der Elektronen auf die entsprechende Phosphorschicht auf der Rückseite des Bildschirms. Alle drei Elektronenstrahlen müssen auf der Maske bzw. dem Bildschirm immer gemeinsam auf den gleichen Bereich treffen. Der Aufwand, diese Konvergenz auch bei der Strahlablenkung über die gesamte Bildschirmfläche zu erreichen, ist bei Dreieck- bzw. Deltaanordnung der Elektronenstrahlen sehr hoch. Um den Korrekturaufwand zu verringern, besteht die Maske statt aus runden Löchern insbesondere bei Fernsehgeräten aus schmalen senkrechten Schlitzen. Man spricht dann von einer Schlitzmaske; die Elektronenkanonen sind hierbei nebeneinander angeordnet (Trinitron), es gelangt ein höherer Anteil der Elektronen auf den Leuchtschirm.

Die Auflösung einer Bildröhre ist wesentlich vom Lochabstand (dot pitch) abhängig. Dieser beträgt bei Monitoren 0,19 bis 0,30 mm, wobei normalerweise der Abstand zwischen zwei Löchern (Lochmitte zu Lochmitte) angegeben wird. Je geringer der Lochabstand ist, desto höher ist die mögliche Auflösung der Röhre und umso detailreicher ist die Bilddarstellung - vorausgesetzt, die Fokussierung und die Konvergenz sind exakt [Henning 2000].

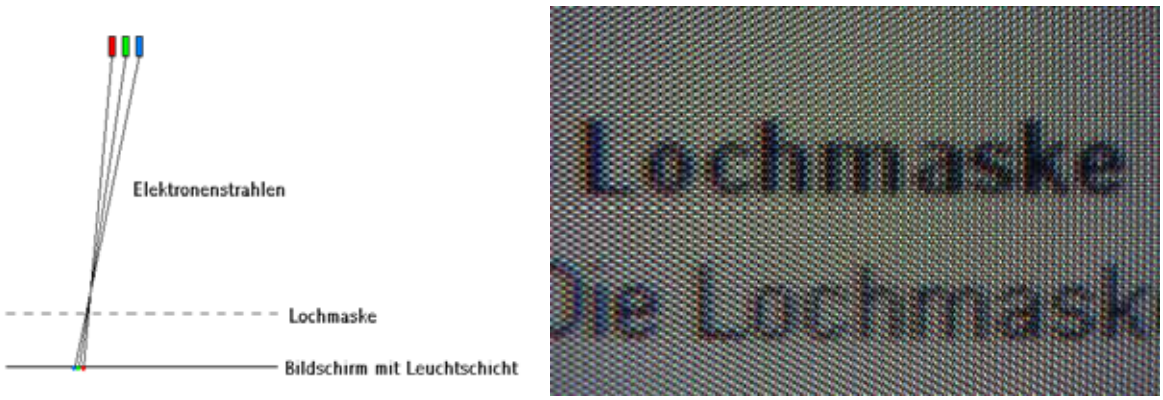


Abb. 3-3:Funktionsweise der Lochmaske, Wikimedia Commons.

Eine Alternative zur Lochmaske ist die Streifenmaske, besser bekannt unter den geschützten Bezeichnungen Trinitron (Sony) und Diamondtron (Hitachi). Hierbei treffen die Elektronenstrahlen nicht auf „Löcher“, sondern auf vertikal gespannte Drähte. Ihr Vorteil ist, dass sie kontrastreicher ist und ein besseres Farbspektrum bietet. Durch den Zwischenraum zweier Drähte tritt dann der Elektronenstrahl auf die Leuchtschicht, welche dann die entsprechende Farbe als sichtbares Licht emittiert. Die Leuchtschicht besteht aus drei Grundfarben, Rot, Grün und Blau, die ebenfalls vertikal nebeneinander angeordnet sind.

Durch die additive Farbsynthese können auf diese Weise beliebige Farben dargestellt werden. Auf Grund ihrer Bauweise ist die Streifenmaske besonders empfindlich gegen mechanische Erschütterungen. Aus diesem Grund sind bei gängigen Monitoren zwei horizontale Haltedrähte eingesetzt, die dem Drahtnetz den nötigen Halt geben. Eine Kombination aus Loch- und Streifenmaske ist die Schlitzmaske (z. B. LG, Philips). Sie hat schlitzförmige Löcher [Macaulay 1988].

Die Streifenmaske ist, nach der Lochmaske, der meist eingesetzte Typ. Monitore mit Streifenmaske finden besonders im professionellen Bereich ihren Einsatz, da sie sich durch besonders hohe Lichtstärke und hervorragende Bildqualität auszeichnen.

Aufgrund der Bauweise haben Streifenmaskenmonitore eine höhere Durchlässigkeit für die Elektronenstrahlen als Monitore mit Loch- oder Schlitzmaske. Dadurch wird weniger Energie in Wärme umgewandelt, stattdessen wird mehr Energie fürs Licht verwendet. Daraus resultiert eine höhere Leuchtdichte und ein besserer Kontrast. Eine zusätzliche Kontraststeigerung wird durch die Schwärzung der Drähte erzielt.

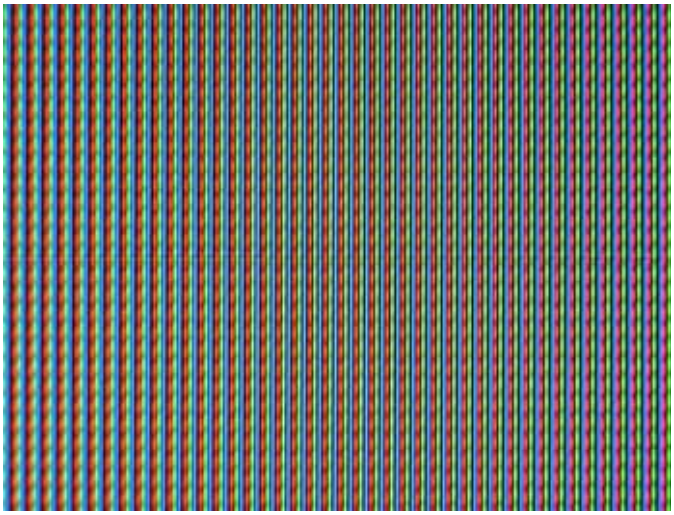


Abb. 3-4:Schlitzmaske, Wikimedia Commons.

3.1.1.2 LCD Bildschirm

Beim Flüssigkristallbildschirm (engl. Liquid Crystal Display, LCD) werden spezielle Flüssigkristalle zur Bilddarstellung genutzt, die die Polarisationsrichtung von Licht beeinflussen können. Diese Bildschirme, deren Realisierung meist eine Matrix von Dünnschichttransistoren verwendet, stellen die zurzeit dominante Flachbildschirm-Technologie dar. Weiters werden auch Videoprojektoren mit LCD-Modulen bestückt [Becker 2006].

Flüssigkristalle sind Verbindungen, die sowohl Eigenschaften von Flüssigkeiten als auch Eigenschaften von Festkörpern aufweisen. Ein einfaches Flüssigkristall-Anzeigeelement lässt sich z. B. mit der Schadt-Helfrich-Zelle realisieren: Die Innenseiten zweier Glasplatten (Substrate) sind mit einer transparenten Elektrodenschicht (Indium-Zinn-Oxidschicht, ITO) überzogen. Dazwischen befindet sich der Flüssigkristall. Die Flüssigkristallmoleküle ordnen sich in eine vorgegebene Richtung, nämlich parallel zu der beispielsweise mit einem Polymid beschichteten und in einer Vorzugsrichtung gebürsteten Oberfläche. Die Vorzugsrichtungen der beiden Substratplatten sind um 90° zueinander verdreht. Zusätzlich sind die beiden Substratplatten mit um 90° zueinander verdrehten Polarisationsfiltern beschichtet. Auf der Rückseite dieser Anordnung kann sich ein Spiegel befinden (Reflektor oder Transflektor), der das einfallende Licht zurückwirft (reflektive Betriebsart). In der transmissiven Betriebsart befindet sich anstelle des Reflektors eine Beleuchtungseinheit hinter dem Anzeigeelement. Aus den gegeneinander verschraubten

Substratplatten ergibt sich eine schraubenförmige Struktur im Flüssigkristall; bei einer um 90° gedrehten Schraube spricht man von TN. Einfallendes Licht wird also vor dem Eintritt in die Flüssigkristallschicht linear polarisiert. Durch die Verdrillung der Moleküle folgt eine Drehung der Polarisationsrichtung des Lichtes, wodurch das Licht den zweiten Polarisator passieren kann und die Zelle lichtdurchlässig (transparent) ist. Da das Display im Ruhezustand durchsichtig ist, wird diese Betriebsart als Normally-White-Mode bezeichnet. Legt man eine elektrische Spannung an die Elektroden an, so tritt unter dem Einfluss des elektrischen Feldes eine Drehung der Flüssigkristallmoleküle ein, die sich parallel zum elektrischen Feld ausrichten. Die Verdrillung wird damit zunehmend aufgehoben, die Polarisationsrichtung des Lichts wird nicht mehr gedreht, und damit kann es den zweiten Polarisationsfilter nicht mehr passieren.

Ordnet man die Polarisationsfilter parallel zueinander an, dann ist die Zelle ohne Spannung dunkel und wird erst mit zunehmender Spannung transparent. Man spricht dann vom Normally-Black-Mode. Die Schadt-Helfrich-Zelle ist also (wie andere Flüssigkristallanzeigen auch) ein spannungsgesteuertes Lichtventil. Ein Bildschirm kann aus beliebig vielen solcher Zellen (Bildelemente, pixel) bestehen. Beim Taschenrechner stellt z. B. eine einfache 7-Segment-Anzeige jeweils eine Ziffer dar, bei einem farbfähigen Bildschirm werden pro Bildelement (Pixel) drei Teilbildelemente (Subpixel) für die Grundfarben Rot, Grün und Blau verwendet.

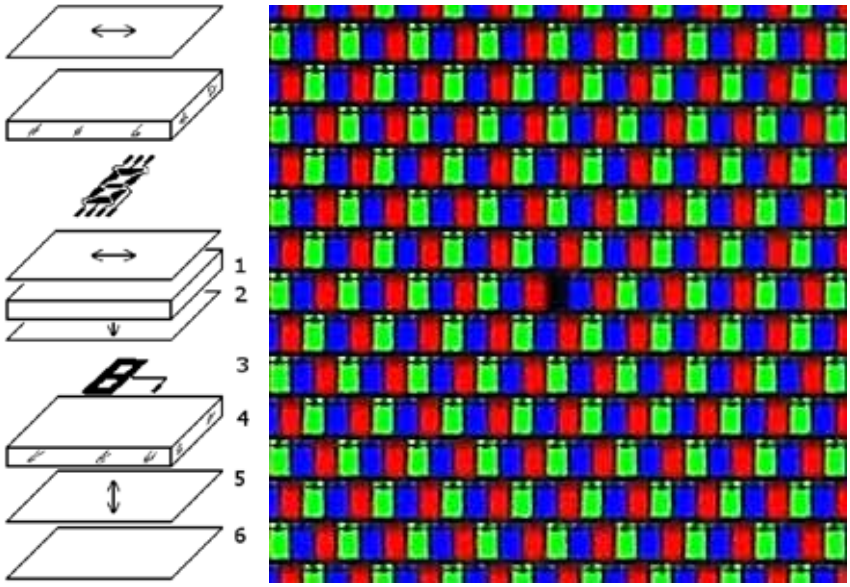


Abb. 3-5:Funktionsweise des LCD Bildschirms, Wikimedia Commons.

Die Vorteile der LCDs gegenüber der Kathodenstrahlröhre sind ein geringerer Stromverbrauch (nur bei unbeleuchteten Displays, der durchschnittliche auf die Displaygröße umgerechnete Strombedarf beträgt für CRTs, LCDs und Plasmabildschirme etwa 450 bis 700 W/m² . Bei Videodarstellung schneiden die LCDs schlecht ab, weil dunklere Bildbereiche gleichhell hinterleuchtet sind) [Henning 2000] und Strahlungsarmut, da LCDs keine Röntgenstrahlung und wenig Magnetfelder abstrahlen. Elektrische Felder werden abgestrahlt und enthalten ebenso wie bei CRTs die Bildinformation (Problem Abhörsicherheit). Ein absolut flimmerfreies, verzerrungsfreies, scharfes Bild, geringeres Gewicht sowie geringe Einbautiefe sind weitere Vorteile von LCD Bildschirmen.

Bei der Herstellung von LCD Bildschirmen wird die physikalische Bildauflösung festgelegt, die Ansteuerung mit einem Signal anderer Auflösung kann zu Qualitätsverlusten führen. Ein TFT-basierter LCD-Bildschirm liefert im Vergleich zu einem CRT-Bildschirm ein viel schärferes Bild – allerdings nur in sei-

ner konstruktionsbedingten physikalischen Auflösung. Signale geringerer Auflösung müssen interpoliert werden und erscheinen verschwommen. Alternativ lässt sich das Bild auch mit schwarzen Rändern zentriert und in voller Schärfe darstellen (bei digitalem Anschluss lässt sich das üblicherweise im Grafikkartentreiber einstellen).

3.1.1.3 Das OLED Display

Das OLED Display erfährt zur Zeit seine technische Reifung und damit eine verstärkte Markteinführung. Das verwendete Verfahren greift auf eine ältere Darstellungstechnik, den Licht emittierenden Dioden (Light Emitting Diode, LED), zurück. In der neuen Weiterentwicklung werden organische Substanzen als emittierendes Material verwendet (Organic Light Emitting Diode, OLED) und mit dem Aktivmatrixverfahren kombiniert. Dadurch sind sehr geringe Bautiefen, hohe Auflösungen und hohe Farbtiefen möglich.

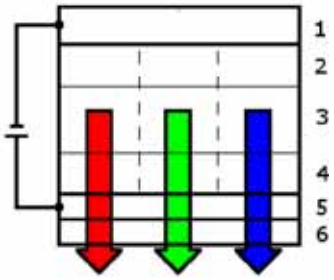


Abb. 3-6: Schema einer OLED; Kathode (aus Metall) (1), Farbstoff-Film: Elektronenabgabe (2), Aussendende Schicht - Exzitone (3), Lochinjektion (4), Anode (ITO) (5), Trägermaterial (6), Wikimedia Commons.

Zum Aufbau: OLEDs bestehen aus mehreren organischen Schichten (im Bild: 1 bis 6). Es wird auf die Anode (5, z. B. Indium-Zinn-Oxid (ITO)), die sich auf einem Träger/Glasscheibe (6) befindet, eine Lochleitungsschicht (Hole Transport Layer oder HTL, 4) aufgebracht. Zwischen ITO und HTL wird oft noch eine Schicht aus PEDOT/PSS (Poly(3,4-ethylendioxythiophen)/Polystyrolsulfonat) aufgebracht, die zur Absenkung der Injektionsbarriere für Löcher dient und die Eindiffusion von Indium in den Übergang verhindert. Auf die HTL wird eine Farbstoffschicht mit dem Farbstoff (ca. 5–10 % Farbe) aufgebracht. Diese Schicht bezeichnet man als Emitterschicht (Emitter Layer, EL, 3). Auf diese wird die Elektronenleitungsschicht (Electron Transport Layer, ETL, 2) gelegt. Abschließend wird eine Kathode (1) (Calcium, Aluminium, Barium, Ruthenium, Magnesium-Silber-Legierung) im Hochvakuum aufgedampft. Als Schutzschicht und zur Verringerung der Injektionsbarriere für Elektronen wird zwischen Kathode und ETL eine sehr dünne Schicht aus Lithiumfluorid, Caesiumfluorid oder Silber aufgetragen [Yersin 2007].

Die Funktionsweise: Die Elektronen werden von der Kathode angeregt, während die Anode die „Löcher“ bereitstellt. Das Loch (= positive Ladung) und Elektron (= negative Ladung) bewegen sich zueinander und treffen sich im Idealfall in der EL, der Rekombinationsschicht. Elektronen und Löcher bilden dann einen gebundenen Zustand, das Exziton. Das Exziton stellt den angeregten Zustand des Farbstoffmoleküls dar. Dieser Farbstoff hat verschiedene Anregungszustände. Der angeregte Zustand kann in den Grundzustand übergehen und dabei ein Photon (Lichtteilchen) aussenden. Die Farbe des ausgesendeten Lichts hängt von der Energiedifferenz zwischen angeregtem und Grundzustand ab. Sie wird durch Variation der Farbstoffmoleküle gezielt verändert [Shinar 2004].

Die nutzbaren Trägerschichten und Materialien prospektieren eine Verwendung von OLEDs als biegsame Displays und sogar elektronisches Papier. Zumindest bietet diese Technologie eine breite Anwendungsmöglichkeit für Displays auf unterschiedlichsten Materialien oder auch Kleidungen. Für kartografi-

sche Anwendungen interessant ist die Dichte der Bildpunktmatrix, die gegenüber bisherigen Bildschirmtechniken viel höher liegt. Ein bildgebendes Element hat eine Kantenlänge von 0,015 mm [Scheurer 2000]. Dies entspricht ca. 666 Punkte/cm oder 1693 dpi.

Neben den unwirtschaftlichen Herstellungskosten mit Größe der Darstellungsfläche gegenüber LCD Displays, stellt eines der größten technischen Probleme bei OLEDs die vergleichbar geringe Lebensdauer auf Grund der aus organischen Materialien bestehenden Bauelemente dar. Bei OLEDs bezeichnet man als Lebensdauer die mittlere Betriebszeit, nach der die Leuchtstärke auf die Hälfte abgesunken ist. Während bei roten OLEDs die Lebensdauer auf etwa 10 Millionen Stunden (mehr als 1100 Jahre) geschätzt wird, leben blaue Dioden im Durchschnitt „nur“ 150.000 Stunden (mehr als 17 Jahre) [Webster 2004].

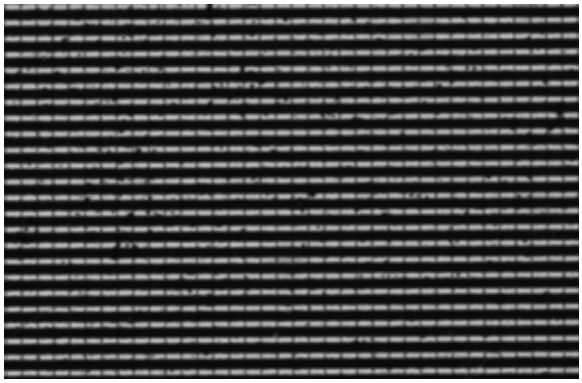


Abb. 3-7: Nahaufnahme eines gealterten Monochrom-OLED-Displays, Wikimedia Commons.

Aus diesem Einblick in die Bildschirmtechnik wird ersichtlich, dass sämtliche Darstellungen auf dem Bildschirm in Form eines Rasters durchgeführt werden. Sämtliche Daten müssen, bevor diese angezeigt werden können, entsprechend der physikalischen Bildauflösung des Bildschirmes gerastert werden. Auch wenn es sich in der Datenhaltung um Vektordaten handelt, müssen diese mit gerätespezifischen Parametern in eine gerasterte Darstellung gerechnet/gerendert werden. Die Konstruktion des Bildschirmes bringt damit eine eigene Auflösung mit sich, die mit der Auflösung des Auges und des Informationsmittels in Zusammenhang steht.

3.1.2 Zusammenhang von Bildschirmtechnik und Auflösung des Informationsmittels

Die Maske (Loch- oder Streifenmaske) als zentrales technisches Element bestimmt die maximale Auflösungsleistung eines Bildschirmes und damit die maximale Auflösung des darstellbaren nicht-interpolierten Bildes (mittels Interpolation können Bilder höherer Auflösung auf dem Bildschirm dargestellt werden. Es ergibt sich durch diese Interpolation aber kein Informationsgewinn). Bei einer Bildschirmdiagonale von 21“ und einem Pitchabstand (Punktabstand der Lochmaske) von 0,24 mm ergibt sich eine maximale Auflösung von ca. 1600 x 1200 Pixel/Bildpunkte. Anders formuliert ergibt die Bildschirmdiagonale von 21“ und eine Auflösung von 1600 x 1200 Pixel eine Ausdehnung des Bildpunktes von 0,24 x 0,24 mm² [Brunner 2001], welches dem Pitchabstand/Punktabstand der Lochmaske entspricht. Vergrößert sich die Ausdehnung des errechneten Bildpunktes, dann wird dieser durch mehrere Punkte der Lochmaske dargestellt und die Auflösung verringert sich.

Tabelle 3-A: Bildpunktgrößen und Auflösungen von Bildschirmen verschiedener Auflösungen, aus Neudeck 2001.

Länge der Bilddiagonale	Bildformat Breite x Höhe(cm)	Physikalische Auflösung (Bildpunkt x Bildpunkt)											
		800x600			1024x768			1280x1024			1600x1200		
		mm x mm	p/cm	dpi	mm x mm	p/cm	dpi	mm x mm	p/cm	dpi	mm x mm	p/cm	dpi
33,8 cm (15“)	27,0 x 20,2	0,34	29	73	0,27	37	94	0,21	48	121	-	-	-
38,8 cm (17“)	31,0 x 23,5	0,39	26	65	0,30	33	85	0,24	42	106	0,19	53	134
43,8 cm (19“)	35,0 x 26,5	0,44	23	58	0,34	29	75	0,27	37	94	0,22	45	115
48,1 cm (21“)	38,5 x 29,0	-	-	-	0,38	26	67	0,30	33	85	0,24	42	106

Mit dieser Aufstellung ergibt sich für die Bildschirmdarstellung eine Auflösung von 58 bis 134 dpi oder 23 bis 53 Bildpunkte pro Zentimeter. Gegenüber einem Druckwerk mit mindestens 300 dpi für Halbtonbilder und 1200 dpi für Strichvorlagen (2500 dpi, Teschner 1991) ist die Auflösung deutlich geringer.

Die Auflösung des Informationsmittels, z.B. ein darzustellendes Rasterbild auf der Bildschirmoberfläche, steht mit dem Auflösungsverhalten des Bildschirmes (des Informationsträgers) in Zusammenhang. Im konkreten Fall der Bildschirmvisualisierung müssen sämtliche Daten vor dem Anzeigen gerastert werden (ein Rendering-Prozess der Grafikkarte), auch wenn diese als Vektordaten gespeichert sind. Die Pixeldichte über die Länge und Breite des darzustellenden Bildes beschreibt die Qualität des Bildes, d.h. indirekt ist die Ausdehnung/Größe des Bildes festgelegt. Ist ein Bild beispielsweise 1800x3000 Pixel groß und wird auf einem Drucker mit 300 dpi ausgegeben, dann entspricht das Bild einer Ausdehnung von 15,24 cm x 25,4 cm. Wird das Bild auf einem Bildschirm ausgegeben, der über 96 dpi verfügt, dann entspricht die Ausdehnung 47,625 cm x 79,375 cm. Dieser Ausdehnung ist dann die Größe 100% (1:1) zugeordnet, d.h. ein Pixel des Bildes entspricht einem Pixel des Übertragungsmediums. Bei der Größe 200% wird ein Pixel des Informationsmittels n_{IM} durch $n_{ÜM}^2$ Pixel des Übertragungsmediums dargestellt. Damit werden die einzelnen Pixel perzeptiv unterscheidbar und eine Rasterung sichtbar. Bei der Größe 50% stellt ein Pixel des Übertragungsmediums $n_{ÜM}$ mehrere Pixel n_{IM}^2 des Informationsmittels dar. Bei den Inhalten können Artefakte wegen des „Informationsüberflusses“ nichtdarstellbarer Bildelemente entstehen.

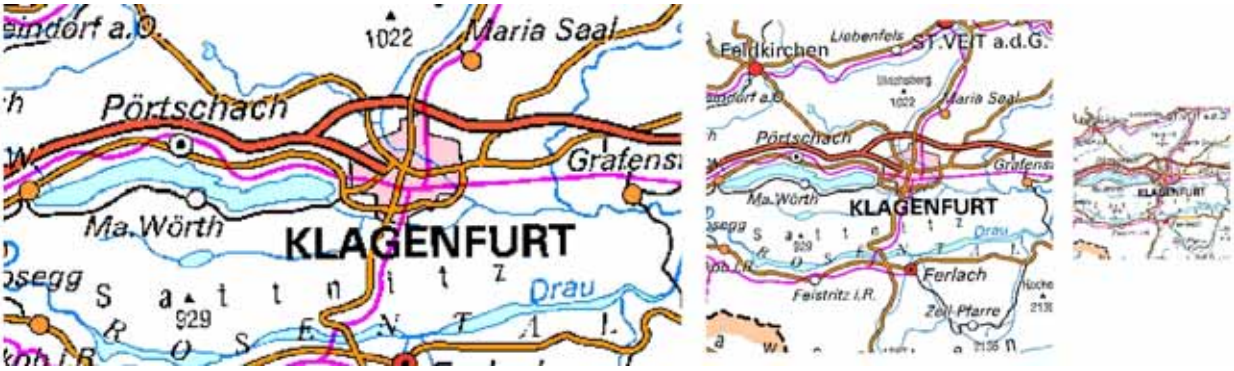


Abb. 3-8: Abbildung eines Kartenbildes mit 200%, 100% und 50% Skalierung.

Eindeutigkeitsbeziehung$_{IM}$: $\mathbf{A_{ÜM}=k_{IM}*A_{IM}}$

(3.1.2 -1)

$A_{ÜM}$ ... Auflösung des Übertragungsmediums

A_{IM} ... Auflösung des Informationsmittels

k_{IM} ... Eindeutigkeitskoeffizient des Informationsmittels

IM ... Informationsmittel

Die *Auflösung des Übertragungsmediums* $A_{ÜM}$ ist die baubedingte, maximal erreichbare Pixeldichte. Hier am Beispiel des Bildschirmes ausgeführt, der durch den Abstand der Lochmaske charakterisiert ist.

Die *Auflösung des Informationsmittels* A_{IM} beschreibt die Pixeldichte des darzustellenden Bildes. Dieses kann entweder direkt aus Vektordaten berechnet/gerendert werden oder über Digitalisierungsprozesse (Scannen, digitale Reproduktion) entstehen.

Der *Eindeutigkeitskoeffizient des Informationsmittels* k_{IM} beschreibt das Dichtemaß zwischen Übertragungsmedium und Informationsmittel und ist im Idealfall ein ganzzahliger Wert a. Nur wenn der Eindeutigkeitskoeffizient ein ganzzahliger Wert ist, können mehrere Pixel (n^k) durch eines (n) dargestellt werden.

Mit dem Eindeutigkeitskoeffizienten des Informationsmittels werden drei Fälle unterschieden:

k_{IM} = 1 ... Damit entspricht die Auflösung des Informationsmittels dem Übertragungsmedium. Bei diesem Idealfall wird ein Pixel des Informationsmittels durch ein Pixel des Übertragungsmediums dargestellt. Es kommt zu keinen Interferenzen der Rasterbilder.

0 < (k_{IM} = 1/a) < 1 ... Liegt der Eindeutigkeitskoeffizient zwischen Null und Eins, wird ein Bildelement des Informationsmittels (IM) durch mehrere Pixel des Übertragungsmediums dargestellt. Je mehr sich der Eindeutigkeitskoeffizient Null nähert, desto mehr Pixel stellen ein Bildelement des IM dar, d.h. umso mehr wird die Rasterung des IM sichtbar.

(k_{IM} = a)> 1 ... Ist der Eindeutigkeitskoeffizient größer als Eins, dann werden mehrere Pixel des IM durch ein Bildelement des Übertragungsmedims dargestellt. So werden beispielsweise bei k_{IM} = 3 neun Pixel (n^3) eines darzustellenden Bildes mit einem Bildelement am Bildschirm visualisiert. Während diese Situation bei Fotografien mit weichen Übergängen in einem „weicheren“ Bild resultiert und manchmal durchaus gewünscht wird, führt sie bei kartografischen Visualisierungen zum unkontrollierten Informationsverlust, da der Wert des darstellenden Bildelements aus den vielen Pixeln des IM errechnet bzw. gewählt werden muss und so zusammenhängende Inhalte, die über den Pixelwert dargestellt werden, gelöst werden können. Die softwarebasierte Erhöhung der Auflösung ist ein verbreitetes Verfahren, mit welchem eine hardwarebasierte Auflösung von 1024 x 768 mit algorithmischen Verfahren (meist durch den Mittelwert) bis auf den neunfachen Wert gesteigert werden kann [Wolberg 1990].

Die Anzeige digitaler Karten erfordert demnach die Eindeutigkeitsrelation $\mathbf{A_{ÜM}=A_{IM}}$ – jedem Bildelement des Übertragungsmediums ist ein Bildelement des grafischen Informationsmittels zugeordnet. Aus dieser Beziehung wird der Vorteil von vektorbasierter Datenhaltung ersichtlich: die Daten werden der Eindeutigkeitsrelation entsprechend mit der Auflösung des Übertragungsmediums berechnet und nutzen 100% der Auflösungsgröße.

3.1.3 Zusammenhang des Auflösungsvermögens des Auges mit der Betrachtungsdistanz

Das Auflösungsvermögen des Auges hängt mit der Betrachtungsdistanz, der Wellenlänge des Lichtes und dem Sehvermögen zusammen. So wird das Auflösungsvermögen als jener Abstand zweier benachbarter Punkte verstanden, die gerade noch visuell getrennt wahrgenommen werden. Diese Definition folgt dem Rayleigh´schen Kriterium in der Optik, wodurch definiert wird, wann zwei Lichtquellen als getrennt betrachtet werden können, da Beugungsphänomene das Auflösungsvermögen jedes optischen Apparates begrenzen. Demnach ist der *kritische Sehwinkel*, jenes Maß, unter dem das Auge zwei formunabhängige Objekte noch unterscheiden kann, von der Wellenlänge des Lichtes und des Linsendurchmessers (beim Auge der Durchmesser der Pupille) abhängig. Der Einfluss von Kontrast und Helligkeit ist in den angeführten Beziehungen nicht direkt berücksichtigt [Tipler 1994].

Der kritische Sehwinkel in [rad] $\boldsymbol{\alpha_k = \arcsin (\lambda / d_A) \sim \lambda / d_A}$ (3.1.3 -1)

λ... Wellenlänge des Lichtes

d_A... Öffnung des optischen Systems (Durchmesser der Pupille)

Die Angabe eines allgemein gültigen Wertes erweist sich auf Grund von Wellenlänge- und Pupillendurchmesservariation als schwierig. Legt man das sichtbare Licht in einem Bereich von 380-780 nm fest und lässt den Pupillendurchmesser von 3-9 mm variieren, können folgende Richtgrössen gegenübergestellt werden:

	d_A = 5 mm	d_A = 9 mm	d_A =3 mm
$\alpha_{k,380}$ (in Bogenminuten)	0,26'	0,15'	0,44'
$\alpha_{k,780}$ (in Bogenminuten)	0,54'	0,30'	0,89'

Als generelles Maß für die weiteren Betrachtungen kann für den kritischen Sehwinkel 0,5' (Bogenminuten) angegeben werden [Schober 1964]. Bei Dunkelheit verringert sich der kritische Sehwinkel bis auf 0,15' und kann sich bei starker Helligkeit und geringerer Pupillenweite bis auf 0,89' vergrößern.

Die Relation des kritischen Sehwinkels mit der Betrachtungsdistanz folgt ebenso den Überlegungen von Rayleigh, wonach eine beobachtbare Halbwertsbreite b angegeben werden kann. Die beobachtbare Halbwertsbreite entspricht bei den Betrachtungen des optischen Augapparates dem Auflösungsvermögen.

Auflösungesvermögen des Auges in [mm] $\boldsymbol{A_A = ZG} = l_A * \tan (\alpha_k) \sim l_A * \lambda / d_A = \boldsymbol{l_A * \alpha_k}$ (3.1.3 -2)

l_A... Betrachtungsdistanz

ZG... Mindestzeichengröße

Dieses Auflösungsvermögen richtet sich, ganz unabhängig von einer Sehschärfe, nach den optischen Eigenschaften des Auges. Das individuelle Maß der Sehschärfe darf nicht mit dem kritischen Sehwinkel verwechselt werden und entspricht bei einem Normalsichtigen dem Sehwinkel von einer Bogenminute [Bach/Kommerell 1998]. Objekte, die diesem Sehwinkel entsprechen, werden gerade noch unterschieden und erkannt. Schober (1964) gibt mit Hinweis auf die zahlreichen Abhängigkeiten, wie Kontrast, Helligkeit oder Eigenschaften des Auges, auch den Wert von einer Bogenminute für den Sehwinkel eines Nor-

malsichtigen an. Somit entspricht die „Mindestzeichengröße“ (ZG) in Abhängigkeit von Sehwinkel und Betrachtungsabstand dem Auflösungsvermögen des Auges: $ZG = A_A = l_A * \alpha_k$.

Mit dieser Beziehung ergeben sich für 30 cm, 50 cm, 90 cm und 3 m Betrachtungsdistanz Mindestzeichengrößen von 0,09 mm, 0,15 mm, 0,26 mm und 0,9 mm. Werden diese Mindestzeichengrößen in Form der Auflösungsbeschreibung von digitalen Medien angeführt, entspricht dies den Werten 111 Punkte/cm, 67 Punkte/cm, 38 Punkte/cm und 11 Punkte/cm oder aber 282 dpi, 169 dpi, 97 dpi und 28 dpi. Das bedeutet, dass bei einer Betrachtungsdistanz von 30 cm mehr als 282 dpi erforderlich sind, um ein homogenes Bild zu schaffen bzw. die Rasterung unter die perzeptive Schwelle abzusenken (bei 50 cm mehr als 169 dpi, bei 90 cm mehr als 97 dpi, bei 3 m mehr als 28 dpi).

3.1.4 Semiotische Richtgröße

Mit dem Auflösungsvermögen des Auges, also einer betrachtungsdistanzabhängigen Funktion, und der Beziehung zwischen Übertragungsmedium und Informationsmittel kann eine semiotische Richtgröße SR angegeben werden, die über die Qualität der Darstellung auf dem Übertragungsmedium und das Potential des Mediums für Inhalte in Mindestgrößen Auskunft gibt. Die Qualität der Darstellung ist besser, wenn die Auflösung des Übertragungsmediums höher als die Auflösung des Auges ist, damit eine etwaige Rasterung bzw. deren Darstellungselemente (Pixel) nicht wahrgenommen werden. Das Potential des Mediums für Inhalte in Mindestgrößen ist höher, je mehr Bildelemente für die Elementdarstellung verwendet werden können, bevor die perzeptive Schwelle erreicht wird.

Für eine gute Qualität der Darstellung besteht also die Forderung, dass die Auflösung des Übertragungsmediums größer als die Auflösung des Auges ist:

$$A_{ÜM} > A_A \qquad (3.1.4\text{-}1)$$

Demnach kann ein Qualitätskoeffizient q eingeführt werden:

$$A_{ÜM} = q * A_A \qquad (3.1.4\text{-}2)$$

Die semiotische Richtgröße SR ergibt sich dann als Verhältniswert zwischen der Auflösung des Informationsmittels und dem Auflösungsvermögen des Auges, aber auch als Verhältnis zwischen dem Qualitätskoeffizienten und dem Eindeutigkeitskoeffizienten des Informationsmittels, unter Berücksichtigung der speziellen Beziehung von Übertragungsmedium und Informationsmittel (3.1.2-1).

Semiotische Richtgröße $$\mathbf{SR = A_{IM} / A_A = q / k_{IM}} \qquad (3.1.4\text{-}3)$$

Aus dieser Beziehung resultieren drei unterscheidbare Fälle für die semiotische Richtgröße:

0 < SR < 1 ... Liegt der Wert der semiotischen Richtgröße zwischen Null und Eins, dann bedeutet dies, dass die Auflösung des Auges größer ist als die Auflösung des Informationsmittels. Die Rasterung oder das einzelne Darstellungselement des Informationsmittels ist deutlich erkennbar. Dies sind beispielsweise Treppeneffekte in der Darstellung auf dem Bildschirm.

SR = 1 ... Entspricht die semiotische Richtgröße gleich Eins, dann ist die Auflösung des Informationsmittels ident mit der Auflösung des Auges. Die Darstellungselemente können gerade noch perzeptiv unterschieden werden, ausgeprägte Treppeneffekte bleiben jedoch verborgen. Dieser Fall tritt häufig bei Bildschirmvisualisierungen mit der üblichen Betrachtungsdistanz von 50 cm bis 90 cm ein.

SR > 1 ... Ist die semiotische Richtgröße größer als Eins, dann ist auch die Auflösung des Informationsmittels größer als die Auflösung des Auges. Die einzelnen Darstellungselemente/Pixel können nicht mehr wahrgenommen werden. Elemente in der Darstellung, die Informationen übertragen sollen, müssen aus mehreren Pixeln bestehen, um die Mindestgröße und das Auflösungsvermögen des Auges zu erreichen

und perzeptiv erfassbar zu sein. Die Beziehung der semiotischen Richtgröße kann unter anderem dazu verwendet werden, um einerseits den geeigneten Betrachtungsabstand für eine gegebene (Medium-)Auflösung zu berechnen oder die erforderliche Informationsmittelauflösung für einen vorgegebenen Betrachtungsabstand zu ermitteln.

Der Qualitätskoeffizient als ausschlaggebender Faktor für SR > 1 beschreibt einen Multiplikator, der das Qualitätsmaß der Darstellung beschreibt. Je größer der Qualitätskoeffizient, desto mehr Bildelemente/Pixel stehen für die Darstellung eines einzelnen Elementes/Objektes (der Karte) zur Verfügung. Ist beispielsweise der Qualitätskoeffizient q=3, dann können 9 Pixel (n^q) für die Darstellung verwendet werden, bevor die perzeptive Schwelle erreicht wird. Verschiedene Kartenelemente, sowohl primitive als auch bildhafte Zeichen, benötigen eine Mindestmenge an Bildpunkten, um ihre Form und Aussage zu erreichen.

3.1.5 Ausgewählte Richtwerte für kartografische Elemente bei der Bildschirmpräsentation aus der Literatur

Mindestgrößen für kartografische Elemente werden oftmals in Millimetern angegeben. Diese Einheit resultiert aus den drucktechnischen Angaben der analogen Kartografie. Für Bildschirmkarten/-präsentationen ist es sinnnvoll, auf die Einheit dieses Übertragungsmediums zurückzugreifen: der Bildpunkt oder das Pixel, um von den verschiedenen Ausformungen und Ausdehnungen der Punktgestaltung (mit der Lochmaske usw.) beim Bildschirm unabhängig zu sein. Ein Zusammenhang zwischen Bildpunkt und Mindestgröße in Millimeter besteht über die Ausdehnung des Bildpunktes, die je nach Technik variiert (z.B.: 0,24 x 0,24 mm² bei 24er Lochmaske). Mit der gerätebasierten Erhöhung der Bildschirmauflösung und damit der Verkleinerung der Bildpunkte nähert sich die tatsächliche Ausdehnung am Bildschirm dem Druckverfahren an. Würde die Auflösung des Bildschirmes der Auflösung des Druckes entsprechen, dann könnten für die Mindestgrößen von Kartenelementen die herkömmlichen Maße verwendet werden. So sollte bei einer Bildschirmauflösung von 300 dpi (118 Punkte/cm) kein Unterscheid zum Druck auf konventionellen Zeichenträgern mehr sichtbar sein. In diesem Fall kann auf bewährte Richtlinien konventioneller Kartengestaltung und auf die Mindestmaße für den Druck zurückgegriffen werden [Neudeck 2001, S. 62].

Richtwerte für Mindestgrößen orientieren sich nach Art des Kartenelementes, also nach Punkt-, Linien und Flächensignaturen. Auf die Abhängigkeiten der Mindestgröße bezüglich Kontrast, Helligkeit und Farbe soll in dieser Auswahl nicht eingegangen werden, diese können bei Neudeck (2001), Brunner (2001) und Malić (1998) nachgelesen werden. Bei der Angabe von Mindestdimensionen für punktförmige Signaturen werden sowohl primitive als auch hohle und bildhafte Elemente berücksichtigt. Bei der Angabe für hohle Formen wird die Stärke der Kontur berücksichtigt. Besonders bildhafte Kartenelemente müssen zur Unterstützung der perzeptiven Erfassbarkeit größer gestaltet werden als einfache geometrische Signaturen. Die angegebenen Werte der punkthaften Signaturen am Bildschirm entsprechen etwa der dreifachen Größe derselben Elemente in analogen Karten (auf Papierträger), wenn von einer Bildpunktgröße von etwa 0,24 x 0,24 mm² ausgegangen wird.

Tabelle 3-B: Mindestgrößen von Positionssignaturen am Bildschirm, Neudeck 2001, S. 63.

Punkthafte Signatur	Kriterium für das Maß	Maße bei S/W Kontrast in Pixel
Kreis	Durchmesser	10
Quadrat	Seite	6
Quadrat (hohl)	Seite	8

Punkthafte Signatur	Kriterium für das Maß	Maße bei S/W Kontrast in Pixel
Rechteck	Seite x Seite	6 x 8
Dreieck (hohl)	Seite	10
Bildhaftes Zeichen	Seiten	15 x 15 bis 30 x 30

Die Breite von Liniensignaturen soll mindestens zwei Bildpunkte sein. Mit dieser Mindeststärke wirken die verschiedenen Intensitäten auf Grund unterschiedlicher Ausrichtung weniger als bei der kleinsten möglichen Linienstärke von einem Bildpunkt. Der minimale Abstand zwischen den Linien entspricht auch dieser minimalen Linienstärke, wobei für gekrümmte Linien eine Erhöhung des Wertes um einen Bildpunkt empfohlen wird [Neudeck 2001, S. 63].

Bei den Mindestgrößen von Flächen werden Elemente mit und ohne Kontur sowie gemusterte Flächen unterschieden. Mit der Größe der Fläche muss die Erkennbarkeit eines homogenen Bildpunktbereichs als flächenhafte Form gewährleistet werden. Für Flächen mit ca. gleicher Ausdehnung in beiden Richtungen x und y gilt eine gute Erkennbarkeit, wenn diese von einem Quadrat mit 12 Bildpunkten Seitenlänge noch umschlossen werden können. Bei Flächen mit Kontur werden durch diese die zwei Pixel einer Linie addiert. Daraus ergibt sich für eine Fläche mit Kontur eine minimale Ausdehnung von etwa 16 Bildpunkten. In eine Richtung gestreckte Flächen sollten in dieser Richtung mindestens 20 Bildpunkte lang sein. Die Breite soll nicht unter 6 Bildpunkte liegen, damit die Seiten voneinander getrennt wahrgenommen werden können, wenn sich die Konturen der schmalen Seiten nicht berühren [Neudeck 2001, S. 63].

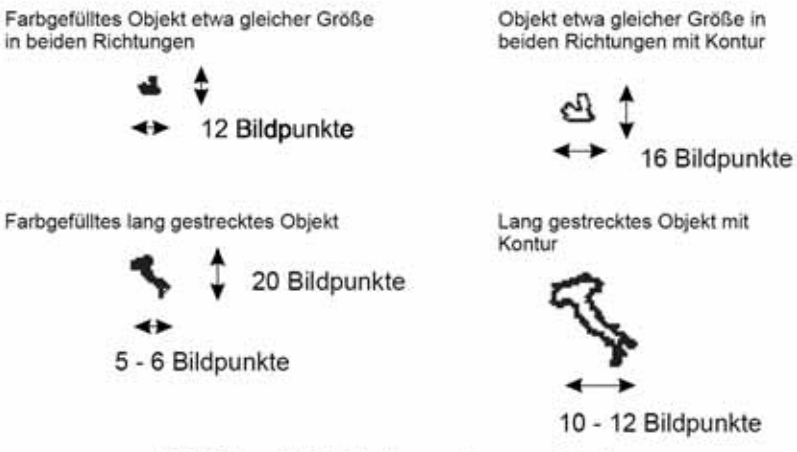


Abb. 3-9: Mindestgrößen von Flächen, Neudeck 2001, S. 64

Zuzüglich zu Mindestgrößen für die Kartenelemente ist ein Abstand zwischen den Elementen notwendig, um den Inhalt differenziert wahrnehmen zu können. Ausreichende Abstände zwischen den Kartenelementen sind ein wichtiges Kriterium für die Garantie der Lesbarkeit der Bildschirmdarstellung. Ein kleinstmöglicher Abstand zwischen zwei Kartenelementen ergibt sich aus der Bildpunktgröße und Betrachtungsdistanz und soll mindestens der Auflösung des Auges entsprechen, damit bei ungünstiger Lage der Elemente keine Verschmelzungen auftreten. Die Zusammensetzung aller Kartenelemente resultiert in der grafischen Informationsdichte, die den Zugang zur tatsächlichen Information erschweren kann, wenn diese zu hoch ist. Die Informationsdichte bzw. grafische Dichte ist dann zu hoch, wenn die Lesbarkeit der Karte trotz Einhaltung der Mindestmaße, entsprechenden Kontrastes und ausreichender Elementabstände eingeschränkt ist [Hake 1994].

Mit der semiotischen Richtgröße wird ein Zusammenhang mit der Auflösung des Auges, dem Übertragungsmedium und dem Informationsmittel hergestellt. Einerseits gibt die Eindeutigkeitsbeziehung an, ob mehrere Bildpunkte/Bildinformation auf ein einziges Pixel reduziert werden und sich somit eine inhaltliche Vereinfachung vollzieht. Andererseits drückt die Auflösung des Auges die Abhängigkeit von der Betrachtungsdistanz aus, womit die notwendige Auflösungsdichte des Übertragungsmediums geregelt wird. Diese Beziehungen gelten generell für alle Übertragungsmedien, deren Auflösung und die Auflösung der Informationsmittel. Mit dem Bildschirm ist ein breit vertretenes Beispiel angeführt. Für die eindringliche Übertragung von 3D stehen weitere Übertragungsmedien zur Verfügung, die sich mehr oder weniger in ihrer technischen Bauweise unterscheiden.

3.2 Weitere Übertragungsmedien und deren Charakteristik

Die visuellen Übertragungsmedien für kartografische Applikationen können grundsätzlich in die Gruppen der Hardcopy und Softcopy Medien eingeteilt werden, wobei Hardcopy Übertragungsmedien nichtelektronische Displays und Softcopy Übertragungsmedien elektronische Displays umfassen. Obwohl sich diese Arbeit auf Softcopy Medien konzentriert, werden Hardcopy Technologien angeführt, da die angewendete Technik meist ident im Softcopy Bereich verwendet wird und dieselben Charakteristika mit sich bringt.

3.2.1 Hardcopy

Hardcopy Übertragungsmedien bezeichnen nichtelektronische Übertragungsmedien. Diese verwenden transmittiertes oder reflektiertes Licht für die Informationsdarstellung. Für die 3D Präsentation verwenden Hardcopy Übertragungsmedien entsprechende „Renderings“, die für das analoge Verfahren erstellt werden, oder zeigen Abbildungen körperlicher Modelle (bspw. Höhenstufenmodell). Die Hardcopy Medien eignen sich für monoskopische, stereoskopische und multistereoskopische, aber auch für natürliche 3D Visualisierungen. Im Allgemeinen werden diese Medien für Präsentationen und die Massenproduktion genutzt. Vorteile sind die natürliche Interaktion mit dem Medium (taktile Handhabung), ein genereller Überblick über eine gesamte Situation und besonders die Eignung für den Massenmarkt, da die Handhabung sehr einfach, das Medium sehr leicht zu transportieren und überall ohne Voraussetzungen einsetzbar ist.

Nachteile sind die meist unbefriedigende Auflösung für kartografische Anwendungen und die statische Visualisierung. Demnach kann nur eine limitierte Informationsmenge mit Hardcopy 3D Präsentationen übertragen werden. Beispiele für 3D Hardcopy Techniken sind Chromostereoskopie, Anaglyphen, Lentikularlinsen und Hologramme.

3.2.1.1 Chromostereoskopie

Für die Chromostereoskopie wird ein digitales Geländemodell (DGM) in ein Spektralfarbenbild konvertiert. Erst damit kann eine wellenlängenabhängige Brechung erfolgen. Mit einer Mikroprismenfolie werden die chromatische Abberation hervorgerufen und künstliche Parallaxen erzeugt, die, den Augen zugeführt, eine räumliche Wahrnehmung der visuellen Information ermöglichen.

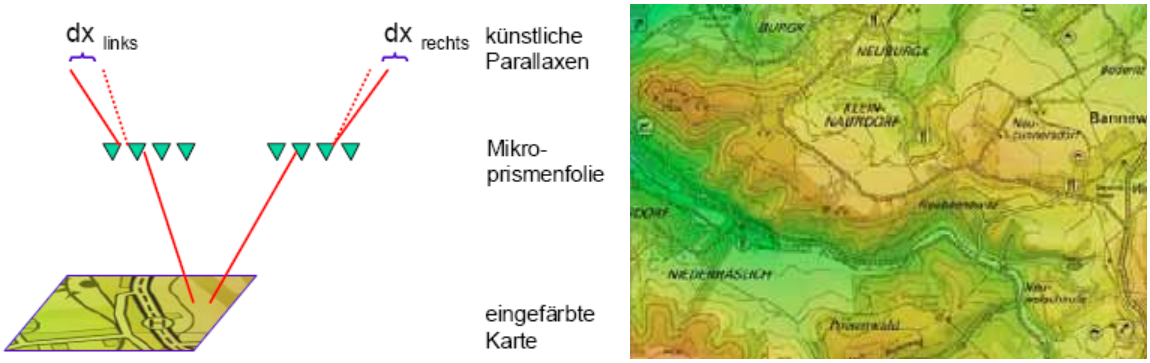


Abb. 3-10: Chromostereoskopie, Quelle Lehrveranstaltung Buchroithner.

Das chromostereoskopische Bild liefert eine gute Auflösung. Die Betrachtung ist ohne zusätzliche Brille möglich und eignet sich daher für eine Multi-User Präsentation. Jedoch liefert diese Methode nur wenige Freiheitsgrade und eine instabile Geometrie (da diese von der Brechung des Lichtes abhängig ist) [Höppner 2000].

Eine Art von Chromostereoskopie wurde im ChromaDepth-Verfahren verfeinert und für die breite Nutzung auf den Markt gebracht. Die ChromaDepth-Brille enthält spezielle Sichtfolien, die aus mikroskopisch kleinen Prismen bestehen. Dadurch werden Lichtstrahlen je nach Farbe unterschiedlich stark abgelenkt. Verwendet man nun bei einem Auge eine Prismenfolie und auf dem anderen Auge eine normale Klarsichtfolie, dann sind die beiden gesehenen Bilder - je nach Farbe - zueinander mehr oder weniger stark versetzt. Das Gehirn erzeugt aus dieser Differenz den räumlichen Eindruck. Der Vorteil dieser Technologie besteht vor allem darin, dass man ChromaDepth-Bilder auch ohne Brille (also zweidimensional) problemlos ansehen kann - es sind keine störenden Doppelbilder vorhanden. Außerdem können ChromaDepth-Bilder ohne Verlust des 3D-Effektes beliebig gedreht werden. Allerdings sind die Farben nur beschränkt wählbar, da sie die Tiefeninformation des Bildes enthalten. Verändert man die Farbe eines Objekts, dann ändert sich auch dessen wahrgenommene Entfernung [chromatek 2008].

3.2.1.2 Anaglyphen

Beim Anaglyphen-Verfahren erfolgt die Bildtrennung durch die Verwendung von Farbfiltern. Das rechte und linke Halbbild sind hierbei mit Komplementärfarben, meist Rot/Blau oder Rot/Grün eingefärbt. Die Farbkombination Rot/Blau hatte eigentlich keine optischen Vorteile, war aber kostengünstiger herzustellen. Die 3D-Kinofilme der 1950er-Jahre wurden sehr oft für die Verwendung des Polarisationsprozesses gedreht, später aber in das billigere Rot/Grün-Verfahren umkopiert. Zusätzlich waren diese Filme bei einem Filmriss leichter handhabbar. Die 3D-Brillen für diese Filme enthielten den roten Filter vor dem rechten Auge [Riemschneider 1995].

Ende der 1970er-Jahre verbesserte Stephen Gibson die Farbanaglyphentechnik erheblich mit seinem patentierten „Deep Vision"-System, das andere Filterfarben verwendet: Rot vor dem linken Auge und Cyan vor dem rechten. Bei diesen Brillen ist das Helligkeitsempfinden gleichmäßiger und für die Augen „ermüdungsfreier". Auch optisch ist die Rot/Cyan Kombination den anderen Farbkombinationen überlegen, da mit ihr auch beschränkt farb-anaglyphe Bilder angesehen werden können. Inzwischen bietet auch die dänische Firma „Color Code" ein eigenes Farbanaglyphen-System an. Die Filterfarben der „ColorCode"-Brillen sind Blau vor dem rechten Auge und Gelb vor dem linken. Auch Farbblinde können die oben beschriebenen Brillen des Anaglyphenverfahrens nutzen, um einen 3D Effekt zu sehen, da die Brille ja nur dazu dient, die Bilder optisch zu trennen.

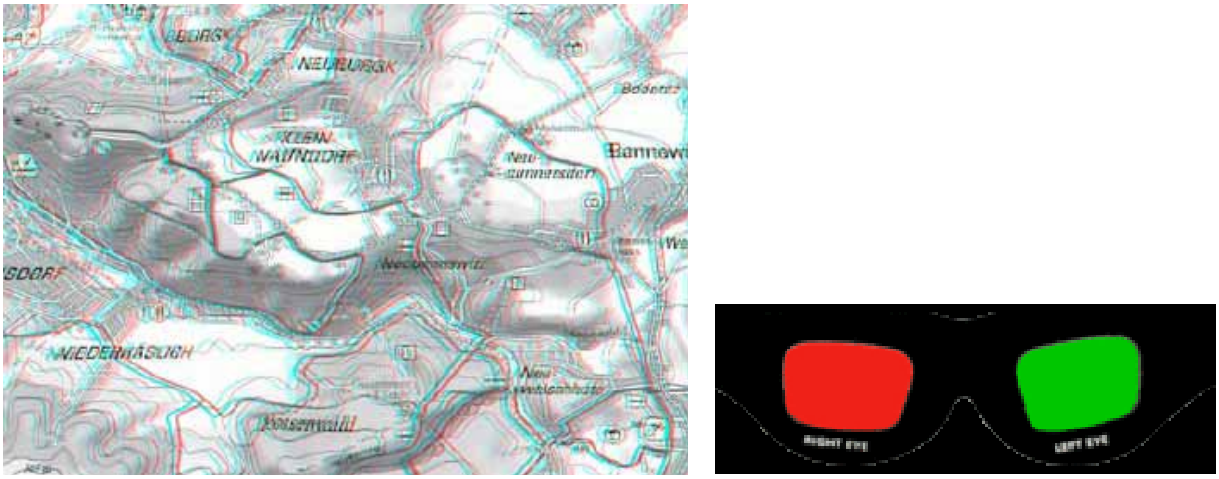


Abb. 3-11: Farbanaglyphen, Wikimedia Commons.

Brillen mit Gelb/Violetten Farbfiltern kommen oft bei Verfahren zum Einsatz, die auf dem Pulfrich-Effekt beruhen. Der Pulfrich-Effekt ist eine optische Täuschung, die 1922 vom deutschen Physiker Carl Pulfrich entdeckt wurde. Der Effekt beruht auf der Tatsache, dass optisch dunkle Reize etwas mehr Zeit für die Wahrnehmung durch das Gehirn benötigen als helle. Wenn nun ein seitwärts bewegter Gegenstand mit beiden Augen betrachtet wird, wobei ein Auge (z. B. mit einer Sonnenbrille) abgedunkelt wird, kommt das Bild des Gegenstandes des abgedunkelten Auges etwas später zum Gehirn. Dieser kleine Zeitunterschied resultiert bei einem bewegten Objekt in der Begebenheit, dass dieses vom Gehirn an zwei etwas auseinander liegenden Orten wahrgenommen wird. Aus dieser Parallaxe berechnet das Gehirn eine räumliche Tiefeninformation, die in der Realität nicht gegeben ist. Dieser Effekt lässt sich gut mit einem seitlich hin und her schwingenden Pendel zeigen. Das eben schwingende Pendel scheint sich auf einer Kreisbahn zu drehen, wobei sich die scheinbare Drehrichtung ändert, je nachdem, welches Auge abgedunkelt wird [Pulfrich 1922]. Ein besserer Effekt ergibt sich mit einer seitlich bewegten Filmkamera (meist von links nach rechts), der aufgenommene Film kann so „pseudo-stereoskopisch“ betrachtet werden. Für echte stereoskopische Aufnahmen wird für jedes Auge ein separates Bild benötigt. Es müssen also in der Regel zwei im Augenabstand aufgenommene Bilder vorliegen, die mit einer echten 3D-Brille angesehen werden müssen.

3.2.1.3 Lentikularlinsen

Bei Lentikularlinsen erfolgt der stereoskopische Effekt durch die Anordnung von Stereopartnern unter zylindrischen Linsen. Über den Strahlengang wird dem linken und rechten Auge das passende Bild zugeführt. Es können mit dieser Technik mehr als nur ein Stereobildpaar übertragen werden. Bei der Anbringung von 5 oder 9 gerenderten Bildern können damit auch Bewegungseffekte hervorgerufen werden, die durch Kippen des Bildes horizontal zu den Linsen abrufbar sind [Gründemann 2004].

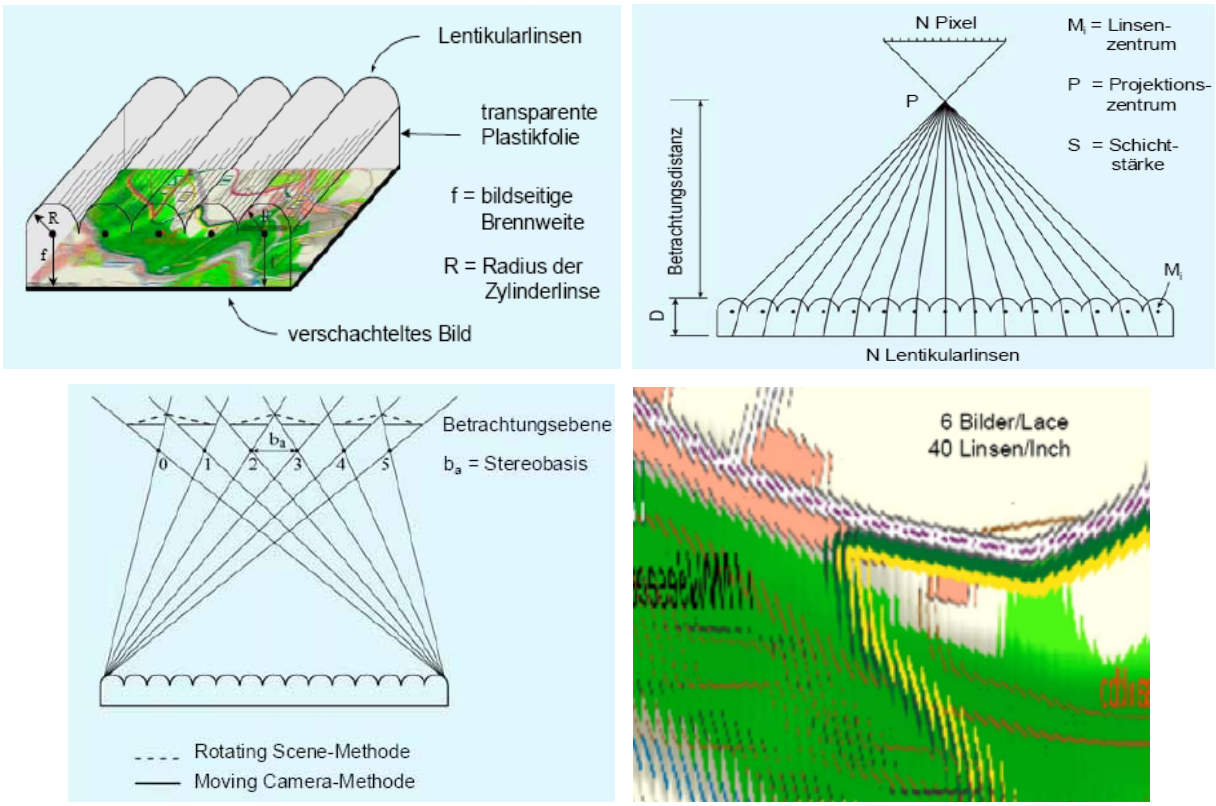


Abb. 3-12: Lentikularlinsentechnik, Quelle Lehrveranstaltung Buchroithner.

Die Verwendung von mehreren Bildern/Stereopartnern resultiert in der Verminderung der horizontalen Druckauflösung, die aber auch von der verwendeten Lentikularfolie abhängt. Unter jeder „Linse“ werden alle Stereopartner/Teilbilder einmal positioniert. Bei 2 Bildern/Lace ergäbe sich damit eine Halbierung der Auflösung der gedruckten Information. Mit einer Folie, die 40 Linsen/inch (LPI) bereitstellt, wird in der Horizontalen maximal die Auflösung von 40 Informationsstreifen/inch (unterschiedlicher Stereobilder) erreicht. Auf Grund des psychologischen Einflusses der Stereoskopie wird die Informationsdichte erhöht, da benachbarte Bilder über ähnliche Inhalte verfügen [Gründemann 2004, Waelder 2007].

Lentikularlinsen bieten einen hohen Freiheitsgrad, eine vergleichsweise stabile Geometrie und die Möglichkeit der Multi-User Darstellung. Mehrere Benutzer können zugleich auf eine Darstellung zugreifen. Die Herstellung benötigt aufwendige geometrische Kalibrierungen. Es werden nur Horizontalparallaxen abgebildet, d.h. eine Verdrehung des Bildes um 90° lässt den Tiefeneindruck verschwinden. Die Technologie ist relativ teuer, da die Linsen geometrisch hochwertige Erzeugnisse sind und für jedes Druckwerk (Bild) richtig positioniert werden müssen.

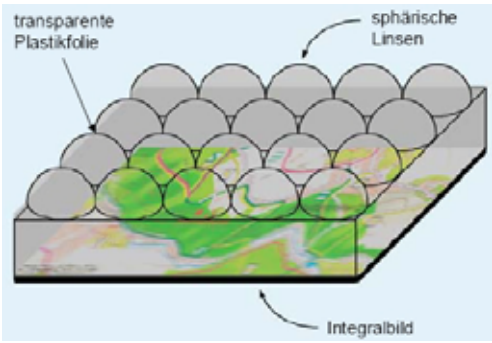


Abb. 3-13: Richtungsunabhängige Lentikularlinsentechnik, Quelle Lehrveranstaltung Buchroithner.

Eine Erweiterung der Lentikularlinsentechnik ist im Moment in Entwicklung und konzentriert sich auf eine uneingeschränkte / richtungsunabhängige Tiefenwahrnehmung. Dieses Spherical Lens Sheet Display wird einen vergrößerten Blickwinkel und Parallaxen in allen Richtungen bieten.

3.2.1.4 Hologramme

Als Hologramm bezeichnet man eine, in der Regel mittels kohärentem Laserlicht hergestellte, fotografische Aufnahme, die nach Ausarbeitung und Beleuchtung mit gleichartigem Licht ein echtes dreidimensionales Abbild des Ursprungsgegenstandes wiedergibt. Geprägt wurde der Begriff 1947 von dem ungarischen Forscher Dennis Gábor, der einen Weg zur Verbesserung von Elektronenmikroskopen suchte. Die Motive scheinen bei der Betrachtung frei im Raum zu schweben. Bei seitlichen Bewegungen kann dabei auch um ein Objekt „herumgesehen" werden, und es entsteht ein vollständig dreidimensionaler Eindruck bei beidäugiger Betrachtung [Heiß 1995].

Als Bildträger werden bei der Erstaufnahme (Masterhologramm) in der Regel fotochemisch behandelte Glasplatten verwendet. Für das Aufnehmen eines Hologramms wird der Laserstrahl mittels eines Strahlteilers in einen Referenz- und einen Gegenstandsstrahl aufgeteilt.

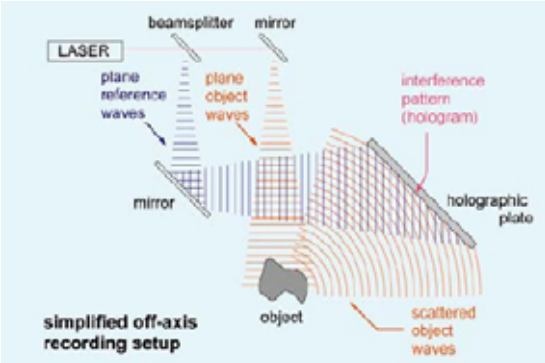


Abb. 3-14: Konzept der Holografie, Quelle Lehrveranstaltung Buchroithner.

Voraussetzungen für die Aufzeichnung von Hologrammen ist die zeitliche und räumliche Stabilität der durch die Überlagerung der Wellenfelder ausgebildeten Interferenzmuster. Die aufzuzeichnenden Objekte dürfen sich während der oft Minuten dauernden Belichtungszeit nicht bewegen. Um ein Hologramm aufnehmen zu können, müssen die Teile der Aufnahmeapparatur und das Objekt räumlich fixiert werden. Meist wird der komplette holographische Aufbau oder zumindest Teile davon auf einem schwingungsfreien Tisch montiert. So ein Tisch besitzt eine große Masse (oft mehrere Tonnen, aus Beton oder schweren Steinplatten) und steht auf mechanisch oder pneumatisch gedämpften Füßen.

Nach der Entwicklung zeigt die Fotoplatte ein charakteristisches Interferenzmuster. Für die **Wiedergabe** wird dieses Hologramm mit einer Punktlichtquelle (Laserstrahl, Halogenspot o.ä.) unter dem gleichem Winkel, unter dem der Referenzstrahl bei der Aufnahme einfiel, bestrahlt. Auf diese Weise wird diese Punktlichtquelle durch das Interferenzmuster gebeugt, sodass hinter dem Bildträger ein Wellenfeld erzeugt wird, das mit dem Wellenfeld bei der Aufnahme ident ist. Für das Auge entsteht so der Eindruck, dass das Objekt, wie durch den ursprünglichen Gegenstandstrahl beleuchtet, frei im Raum hinter oder vor der Fotoplatte stehen würde. Die gesamte tiefen-räumliche Information über das Motiv wird dabei mit dem Interferenzmuster und dem Gegenstandstrahl wieder hergestellt.

Die Auflösung von Reflexionshologrammen folgt der Auflösung des holografischen Filmes, der ähnlich wie fotografischer Film mit einer Silbersalz-Beschichtung arbeitet, die mit diversen Bädern (Entwicklung, Stopbad und Fixierung) entwickelt werden muss. Moderne Werte für holografischen Film liegen zwischen 1000 und 3000 Linien/cm [holografie 2008]. Allerdings reduziert sich diese hohe Auflösung auf die Auflösung des Informationsmittels (Bildes, 3D Modells), wenn von einer digitalen Vorlage ausgegangen und diese für die Laserbelichtung errechnet wird.

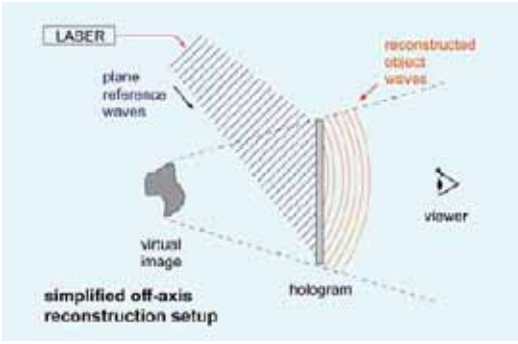


Abb. 3-15: Konzept der Holografie 2, Quelle Lehrveranstaltung Buchroithner.

3.2.2 Softcopy

Softcopy Übertragungsmedien bezeichnen elektronische Übertragungsmedien für transiente Darstellungen. Diese sind im Allgemeinen für die Informationsdarstellung selbstleuchtend. Das Rendering der bildhaften Information erfolgt auf diesen digitalen Displays, die für monoskopische, stereoskopische oder multistereoskopische Visualisierungen eingesetzt werden, mit Hilfe der Computer Hardware, der Grafikkarte. Der generelle Hauptanwendungsbereich von Softcopy 3D Displays liegt noch in der Forschung und Analyse von Informationen, da diese Übertragungsmedien, besonders wenn diese eine hohe Qualität aufweisen sollen, hohe Kosten verursachen.

Die Vorteile von Softcopy Übertragungsmedien umfassen sowohl eine mögliche Echtzeitvisualisierung komplexer Informationsinhalte als auch die flexible, dynamische und interaktive Visualisierung und Anbindungsmöglichkeit für Datenbanken. Die Nachteile von Softcopy basieren auf der nötigen Hardware (Gewicht, Stromverbrauch, Kosten, ...) und oftmals auf der unnatürlichen Interaktion zwischen Benutzer/Betrachter und dargestellter Präsentation. Beispiele für Softcopy Techniken sind sowohl aktuelle Displays (CRT, LCD, e-Paper) als auch die digitale Chromostereoskopie, digitale Anaglyphen, Stereobrillen (und ähnliche Verfahren), Lentikulardisplays, „Rotating Helix Mirror“ usw. für die 3D Präsentation.

3.2.2.1 e-Paper

Elektronisches Papier, kurz E-Papier genannt, ist eine „papierähnliche“ Grundlage (wenn die verformbare Eigenschaft des Materials gemeint ist) mit einer Beschichtung ("Tinte"). Das 'Papier' besteht aus elektrisch leitendem Kunststoff, in das kleine Kügelchen eingebettet sind. Diese Kügelchen mit eingebetteten Pigmenten reagieren auf elektrische Spannung. Dadurch wird die Darstellung auf dem E-Papier verändert [Shin 2007].

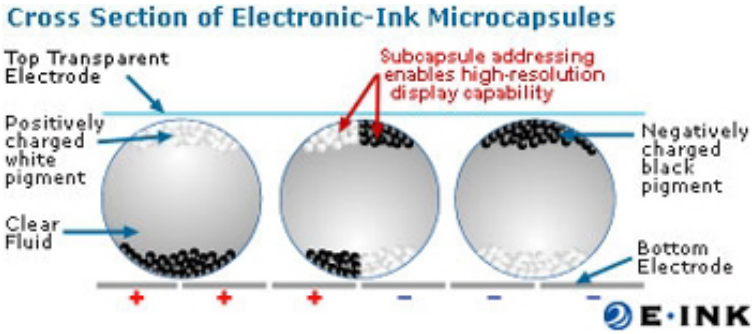


Abb. 3-16: Konzept e-Paper [http://www.eink.com/technology/howitworks.html]

Abb. 3-17: Beispiele e-Paper [http://www.eink.com/technology/howitworks.html]

Grundsätzlich vereint E-Papier die Vorteile von Computerbildschirm und Papier. Zu den bedeutendsten Vorteilen gegenüber herkömmlichen Bildschirmen (CRT, LCD, ..) gehören:

- hoher Kontrast (ähnlich normalem Papier)
- der Bildinhalt sieht von jedem Blickwinkel aus gleich aus (Vorteil gegenüber LCDs)
- es gibt kein Flimmern (Vorteil gegenüber Röhrenmonitoren)
- sehr dünn, biegsam, leicht und (jedenfalls potentiell) günstig in der Herstellung
- in allen Größen und Formen herzustellen - vom kleinen Display mit der aktuellen Wetteranzeige bis hin zur großen Anzeigetafel oder Plakatfläche
- äußerst geringer Stromverbrauch, da nur zum Ändern des Bildinhalts (Seitenwechsel) Strom fließen muss

Weitere Vorteile gegenüber herkömmlichem Papier wären:

- ganze Bücher können auf dem E-Papier angezeigt werden, durch Knopfdruck gelangt man zur nächsten Seite
- mehrere elektronische Bücher, Zeitschriften, Webseiten können zugleich auf einem Gerät gespeichert werden
- der Inhalt der Dokumente lässt sich verändern/ergänzen
- Hyperlinks sind möglich; Lesezeichen werden elektronisch gespeichert und können nicht verloren gehen
- die Schriftgröße lässt sich elektronisch vergrößern oder verkleinern
- in elektronischen Dokumenten kann schnell und effizient gesucht werden, ohne blättern zu müssen
- Lesegeräte können wasserdicht konstruiert werden
- für neue Inhalte wird kein neuer Zellstoff benötigt (dennoch ist die Ökobilanz der Herstellung eines Lesegerätes schlechter als die Herstellung von Büchern aus nachwachsendem Zellstoff)

Zu den wichtigen Nachteilen gehören:

- man kann E-Papier (wie normales Papier auch) nicht ohne zusätzliche Beleuchtung im Dunkeln ablesen (im Vergleich zu LCD-Displays, die eine integrierte Hintergrundbeleuchtung haben)
- zur Zeit können nur Grautöne dargestellt werden (es gibt erste Prototypen mit farbiger Anzeige)

- der Seitenwechsel ist momentan noch relativ träge
- durch den trägen Bildwechsel sind derzeit Videos und Animationen praktisch unmöglich
- es erfordert zusätzlichen Aufwand (Touchscreen), das E-Papier mit einem speziellen Stift beschreibbar zu machen
- auch das E-Papier ist abhängig von elektrischer Energie (zum Ändern des Bildinhalts und für neue Inhalte).

Die Auflösung von E-Papier richtet sich nach den eingebetteten Kugeln, die die Pigmente beinhalten. Die projizierte Fläche auf der Folienoberseite entspricht einem Bildelement oder Pixel. Wenn diese Kügelchen mit 300 dpi in die Folie eingebettet werden könnten, bestünde theoretisch kein Unterschied zu einem herkömmlichen Druckverfahren mit 300 dpi Auflösung.

3.2.2.2 Projektoren

Ein Videoprojektor, Digitalprojektor oder „Beamer“ ist ein spezieller Projektor, der Daten aus einem digitalen Ausgabegerät (Computer, DVD-Player, Videorekorder usw.) in vergrößerter Form auf eine Projektionsfläche strahlt. Die Bandbreite reicht von stationären Hochleistungsprojektoren bis zu sehr kleinen Präsentationsprojektoren für den mobilen Einsatz, die verschiedene Techniken verwenden. Zu den verbreitetsten Technologien gehören LCD, DLP und LED-Projektoren [Projektoren 2008].

LCD Projektoren: Flüssigkristallprojektoren (LCD) funktionieren im Prinzip wie Diaprojektoren, anstelle eines Dias haben sie jedoch kleine, transparente Flüssigkristallelemente. Besonders hochwertige Geräte verwenden drei LCD-Elemente (für jede Grundfarbe eines), deren Projektion über ein speziell angeordnetes Projektionssystem mit dichroitischen Spiegeln zu einem Bild zusammengefügt wird. Dadurch kann in jedem Bildpunkt jede Farbe erzeugt werden. Bei preiswerteren Geräten mit nur einem Flüssigkristallelement werden die drei Grundfarben nebeneinander dargestellt, was zu einem gröberen Bildeindruck führt [Mrotzek 2000].

Die Nachteile wirken sich besonders aus bei

- der scharf abgezeichneten Pixelstruktur („Fliegengitter“), die sich störend auswirkt,
- der festen Auflösung des Eingangssignals das eine qualitätsmindernde Skalierung nötig macht,
- dem „Nachziehen“ des Bildes, das durch die Trägheit der LCDs hervorgerufen wird,
- dem LCD-Memory-Effekt (Einbrennen). Werden Stellen zu lange mit zu hellen Bildern angeregt, so werden diese Stellen langsam permanent dunkel. Beispielsweise können sich Fernsehlogos permanent einbrennen.

DLP Projektoren: Als Bildwandler von DLP-Projektoren (Digital Light Processing) kommt ein Digital Micromirror Device (DMD) zum Einsatz. Dieses ist ein integrierter Schaltkreis, auf dem sich für jeden einzelnen Bildpunkt ein winziger, durch einen elektrischen Impuls kippbarer Spiegel befindet. Die Bilderzeugung erfolgt durch das gezielte Ansteuern der Kippspiegel, sodass das Licht in Richtung der Projektionsoptik geleitet oder abgelenkt wird. Da diese Art der Bilderzeugung nur die zwei Zustände an und aus kennt, müssen Helligkeitsabstufungen durch entsprechend schnelles Pulsieren erreicht werden. Die DLP-Spiegel schalten bis zu 5000 Mal pro Sekunde [Hornbeck 1998].

Die meisten Geräte verwenden zur Erzeugung eines Farbbildes ein schnell rotierendes Farbrad, wobei mit einem DMD nacheinander alle drei Grundfarben projiziert werden. Bei Projektoren für den professionellen Bereich (z. B. Kino) kommen drei separate Bildwandler-Schaltkreise (DMD) zum Einsatz. Je nach Position eines Spiegels wird das Licht einer Lampe reflektiert (Pixel hell) oder nicht (Pixel dunkel). Je häufiger (und damit länger) ein Spiegel während eines Frames (1/24 s) in der On-Stellung ist, desto

heller ist der Pixel sichtbar. Für jede der drei Grundfarben Rot, Grün und Blau ist ein Chip zuständig; deren unichrome Bilder werden über Farbfilter und ein Prisma zum fertigen Bild zusammengefügt und auf die Leinwand projiziert. DLP-Projektoren können ein sehr tiefes Schwarz darstellen. Bauartbedingt befinden sich zwischen den Spiegeln kleine Spalten. Diese werden bei starker Vergrößerung als schwarze Stege im Bild sichtbar. Texas Instruments stattet die Projektoren von NEC, Christie und Barco mit DMD-Chips aus.

Vorteile

- Sehr hohe Geschwindigkeit, dadurch kein Nachleuchten/Nachziehen des Bildes
- Kein Einbrennen des Bildes (z.B. bei Computerspielen)
- Höherer Kontrast (durch das tiefere Schwarz) als beim LCD-Projektor
- Weniger stark ausgeprägte Pixelstruktur als bei LCD-Projektoren

Nachteile

- Für eine qualitätsvolle Bilddarstellung sollte die Auflösung des Eingangssignals der Ausgabe-Auflösung entsprechen.
- Regenbogeneffekte bei einigen Geräten mit Farbrad, wenn das Farbrad keine hohe Umdrehungsgeschwindigkeit hat (herstellerabhängig)
- Bei der Darstellung bestimmter, einzelner Grau-/Farbwerte kann es zu einem sichtbaren Flimmern kommen.
- Farbtreue ist mitunter nicht gegeben. Besonders existiert bei DLP-Projektoren das Problem, sattes Grün und auch alle Rot- und Orange-Farbtöne gut darzustellen. Dies betrifft hauptsächlich die Consumer-Geräte (Ein-Chip-DLP), da bei diesen die Farbrad-Technik zum Einsatz kommt.

LED-Projektoren: Bei diesen Projektoren kommen LEDs (Light Emitting Diode) als Lichtquelle zum Einsatz; bildgebend ist wie bei den DLP-Projektoren ein DLP-Element [Mrotzek 2000].

Vorteile

- LEDs haben einen sehr geringen Stromverbrauch (ca. 10 W) und erzeugen kaum Wärme.
- LEDs halten mehr als 20.000 Stunden.
- Da die Farben durch sequenzielles Aufleuchten der RGB-LEDs gebildet werden, fällt auch das normalerweise bei DLP-Projektoren notwendige Farbrad weg.

Nachteile

- Zu geringe Lichtleistung, um mit herkömmlichen Geräten konkurrieren zu können. Sie sind jedoch hell genug, um ein im Dunkeln gut erkennbares Bild mit einer Diagonale von etwa einem Meter zu erzeugen.

Die Auflösung von Projektoren entspricht der Auflösung des LCD, DLP oder LED Chips (Projektionselementes), die unabhängig von ihrer bildgebenden Technik in Bildelementen aufgebaut sind. Derzeitige Standardgrößen liegen zwischen 800 x 600 und 1280 x 1024 Pixel. Mit der projizierten Bildgröße können die Werte für einen Vergleich digitaler „Qualitätsangabe“ wieder in dpi umgerechnet werden. Beispielsweise ergibt ein projiziertes Bild mit 200 cm Breite bei einem Projektor mit 1024 x 768 Pixel eine Auflösung von 5 Pixel/cm oder ca. 13 dpi.

3.2.2.3 Head Mounted Displays

Ein VR-Helm oder Head Mounted Display (kurz HMD) ist ein visuelles Ausgabegerät. Oftmals werden auch Begriffe wie Datenhelm oder -brille bzw. Videobrille verwendet. Alle Begriffe beschreiben dasselbe Prinzip der Datenausgabe. Eine Videobrille ist ein aufsetzbares elektronisches Gerät zur Betrachtung vi-

sueller Information. Es besteht aus einem Kopfbügel, zwei OLED- oder LED-Kleinstbildschirmen, einem Kopfhörer oder Ohrstöpseln und meist zusätzlichen Sichtblenden, die es ermöglichen, Videoinformation ungestört von externen optischen Reizen zu betrachten. Über eine Spezialoptik vor jedem Auge erfolgt die gleichzeitige Projizierung zweier horizontal leicht versetzter Bilder. Der Vorteil dieser Displays ist die hohe Mobilität und das immersive Eintauchen in die (virtuelle) stereoskopische Abbildung, da der Nutzer nicht durch sonstige optische Reize aus der realen Umgebung irritiert wird, sondern visuell nur das Abbild am Display wahrnimmt. Ein Nachteil ist (derzeit) das relativ begrenzte Blickfeld (FoV), die noch zu geringe Auflösung der Displays sowie Ermüdungserscheinungen nach gewisser Anwendungszeit [Cakmakci 2006].

Die Hauptkomponenten eines HMDs sind eine Displayeinheit und eine HMD-Optik. Die Displayeinheit liefert das Bild durch eine angeschlossene Datenquelle. Dies kann ein Laptop, ein Pocket Computer oder auch ein Standalone Player (Videoplayer) sein. Die HMD-Optik leitet das Bild weiter und projiziert es vor das Auge.

Datenbrillen der ersten Generation waren mit zwei vor den Augen befestigten Kathodenstrahlröhren ausgestattet. Heutige HMDs sind mit ein bis zwei LCD-Monitoren (Liquid Crystal Displays) ausgestattet, je nachdem, ob ein einfaches oder stereoskopisches Bild erzeugt werden soll. Diese sind in eine Brille oder einen Datenhelm integriert. Displays dieser Art haben im kommerziellen Bereich eine Auflösung von etwa 640 x 480 Pixel bei einer Seitenlänge von ca. 2 cm. Die hohe errechnete Auflösung von 320 Pixel/cm oder 813 dpi wird durch die geringe Betrachtungsdistanz (ca. 5 bis 10 cm) kompensiert.

Moderne HMD Ausformungen sind mit einem Virtual Retinal Display (VRD) ausgestattet [VRD 2008]. Diese Technik projiziert ein Bild direkt auf die Netzhaut. Somit entsteht ein Bild, als ob die Darstellung vor dem Auge schweben würde. Zusammen mit einer transparenten bzw. transluzenten Brille kann das Auge sowohl die Umgebung als auch die Darstellungen der Brille gleichzeitig erfassen. Ein weiterer Vorteil ist, dass das Bild auf der Netzhaut skaliert werden kann und so das gesamte Blickfeld ausgenutzt wird. Theoretisch sollte bei dieser „nicht-vorhandenen“ Betrachtungsdistanz die Auflösung des Displays der Auflösung der Netzhaut entsprechen, um ein homogenes Bild zu erzeugen.

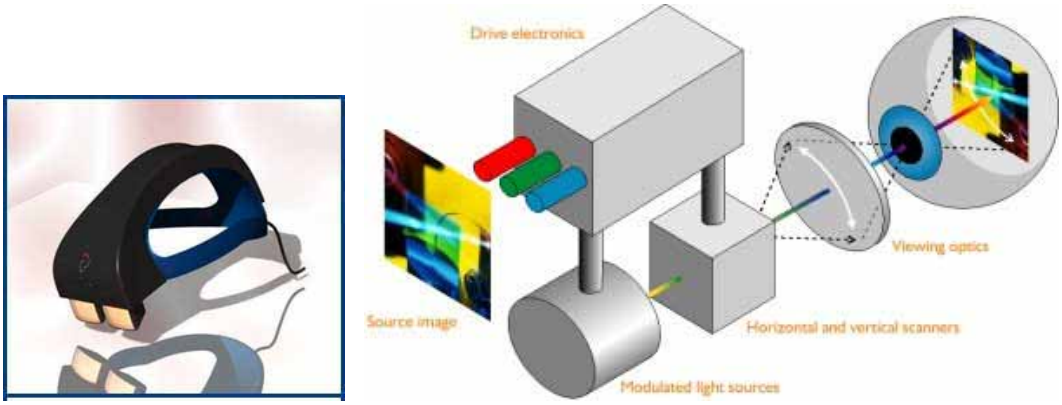


Abb. 3-18: Prinzip des HMD und VRD, Wikimedia Commons.

Modernste HMDs sind bereits mit einer Auflösung von 1600 x 1200 Pixel erhältlich. Ausgestattet mit einem Head Tracker (dt.: „Kopf-Verfolger“) kann das Bild an die Blickrichtung angepasst werden. Anhand von Referenzpunkten an dem HMD kann der Head Tracker die Kopfbewegung erfassen. Die gesammelten Daten können so das gesehene Bild in Echtzeit verändern. Damit entsteht auch bei Bewegung das Gefühl, Teil der Anwendung zu sein. Verzögerte und schlechte Darstellung kann zu unangenehmen Nebenerscheinungen wie der „Simulationskrankheit“ und einer Herabsetzung der Präsenz und/oder des Grades der Immersion führen. Wichtigste technische Kenngröße ist neben Stereoskopie-Fähigkeit, Gewicht, Auf-

lösung der Bildschirme vor allem das Sichtfeld (engl.: Field of View, FoV), das bei gut dokumentierten Geräten als horizontales und vertikales FOV angegeben wird.

3.2.2.4 Autostereoskopische Systeme

Autostereoskopische Systeme benutzen Autostereoskopie für die Vermittlung von 3D Informationen. Dabei werden sämtliche psychologische und ausgewählte physiologische Tiefenwahrnehmungsparameter für die intuitive Übertragung verwendet.

Die autostereoskopischen Systeme können als Bildschirm-Brillen Kombination, wobei die Bilder nach dem Image-Splitting des Bildschirms mittels geeigneter Brillen dem richtigem Auge zugeführt werden, oder als direkte Lösung, mittels Richtungsmultiplex Verfahren, aufgebaut sein.

3.2.2.4.1 Bildschirm-Brille Kombinationen

Das Anaglyphenverfahren der Hardcopy Übertragungsmedien wird auch bei Softcopy Medien eingesetzt. Als Ausgangsbasis dient ein Stereobildpaar, wobei das linke Bild rot und das rechte Bild in der Komplementärfarbe Cyan (bzw. Blau oder Grün) eingefärbt wird. Die beiden Bilder werden dann überlagert und mittels Rot-Grün- bzw. Rot-Blau- (Cyan)-Brille betrachtet. Dadurch, dass auf Grund der Farbfilter das linke Auge nur die Bildanteile aus dem linken Bild und das rechte Auge nur die aus dem rechten Bild wahrnimmt, entsteht ein stereoskopischer Eindruck. Beim Softcopy Medium Bildschirm (CRT, LCD, ..) werden die Anaglyphen in Echtzeit gerechnet und zur Darstellung gebracht.

Die Pulfrichbrille nützt im Wesentlichen die Tatsache, dass das Gehirn länger braucht, um dunkle Szenen zu verarbeiten und hat deshalb unterschiedlich helle Filter für das linke und das rechte Auge. Sie ist, ähnlich der Anaglyphenbrille, sehr einfach herzustellen. Nachteilig ist die Tatsache, dass nur Bewegtbilder auf diese Weise stereoskopisch wahrgenommen werden können, weshalb das Verfahren auch für das Fernsehen von Zeit zu Zeit immer wieder genutzt wurde. Darüber hinaus wird diese Methode auch für spezielle 3D-Computermonitore eingesetzt.

Die ChromaDepth-Brille bewirkt eine Separation der Spektralkomponenten, sodass bei Grün-Anteilen die Fokussierung optimal ist, während Rot weniger (längere Wellenlänge; die Linse ist konvexer und die Objekte erscheinen näher) und Blau mehr gebrochen wird (kürzere Wellenlänge; die Linse ist weniger konvex und Objekte werden als weit weg empfunden). Für das menschliche Auge erscheinen blaue Objekte tiefer als rote (Chromastereopsis). Von Nachteil ist auch hier, dass zur Erzeugung des 3D Effekts auf eine Echtfarbendarstellung verzichtet werden muss.

Bei der Polarisationsbrille wird von zwei Projektoren/Bildschirmbildern, deren virtuelle Objektive so zueinander angeordnet sind, dass sie dem menschlichen Augenabstand entsprechen, jeweils ein um 90° unterschiedlich polarisiertes Bild ausgestrahlt. Eine Filterbrille sorgt dafür, dass wiederum nur das dem linken bzw. rechten Auge entsprechende Bild den Filter passieren kann. Bei diesem System kann der Betrachter das Bild bzw. den Film in Echtfarben sehen. Nachteilig ist jedoch ein gewisser Verlust an Polarisation. Eingesetzt wird dieses Verfahren hauptsächlich in diversen Themenparks bzw. auch für IMAX-3D-Filme.

Bei Shutterbrillen wird über einen Infrarot-Emitter die Shutterbrille mit dem Bildaufbau des Monitors synchronisiert; d.h. es wird abwechselnd das linke bzw. das rechte Auge abgedeckt (polarisierte Brille), sodass immer nur das „richtige“ Auge das entsprechende Teilbild zu sehen bekommt. Da der ständige Wechsel zwischen zwei leicht versetzten Ansichten effektiv die Bildrate halbiert, war dieses Verfahren noch bis vor kurzem ausschließlich Monitoren mit Bildröhre (CRT – Cathode Ray Tube) vorbehalten, da nur diese mit einer ausreichend hohen Bildwiederholfrequenz betrieben werden konnten (ab 120 Hz,

entspricht 60 Bildwechsel pro Sekunde für jedes Auge). Shutterbrillen sind bislang die einzige Möglichkeit, um stereoskopische 3D-Grafik auch auf einem herkömmlichen Monitor mit unverfälschten Farben darzustellen. Die Halbierung der effektiven Bildrate nimmt das Auge jedoch als störendes Flimmern wahr, sodass ein längerer Aufenthalt vor dem Bildschirm zur Ermüdung des Betrachters führt. Bekannt wurde diese Technik vor allem durch den Einsatz bei Computerspielen.

3.2.2.4.2 Direkte Lösungen - Richtungsmultiplex Verfahren

Beim Image Splitter Verfahren handelt es sich um ein herkömmliches LCD-Display, bei welchem jeweils jede zweite Pixelspalte für ein linkes bzw. rechtes Bild verwendet wird. Eine Streifenmaske vor dem LCD blockiert für das jeweils andere Auge die nicht benötigten Spalten. Nachteil des Verfahrens ist, dass der Effekt nur für einen Betrachter sichtbar ist, denn die 3D Darstellung für verschiedene Kopfstellungen verlangt eine aufwendige Nachführmechanik. Die Auflösung des ohnehin schon „schlecht“ auflösenden Übertragungsmediums (LCD) wird in horizontaler Richtung halbiert.

Bei den Softcopy Lentikularlinsen Verfahren werden Stereobildpaare in die unterschiedlichen Pixelspalten des Displays gelegt und mittels der Lentikularlinsenfolie dem richtigen Auge zugeführt. Die physikalische Funktionsweise entspricht dem Hardcopy Verfahren. Die Ergänzung um einen zweiten Satz von Linsen hinter dem Display ermöglicht mehrere Stereofenster in festgelegtem Betrachtungsabstand. Ein Nachteil ist Anfälligkeit für Kratzer und Verschmutzung und vor allem die Verminderung der horizontalen Auflösung. Tatsächlich kann bei den Lentikularlinsen nicht von einer Halbierung gesprochen werden, da sich ein großer Teil des einen Bildes auch im anderen befindet und beide für ein Gesamtbild verwendet werden. Es ergibt sich daraus ein Auflösungsverminderungsfaktor von ca. 1,4 bis 1,7.

3.2.2.5 Humphrey

Humphrey ist ein speziell konstruiertes Gerüst mit Force-Feedback-Apparaturen. Damit können physikalische Kräfte der virtuellen Welten mechanisch simuliert werden. Das Ziel ist, durch die Kombination von Virtual-Reality- und Force-Feedback-Technologien ein möglichst realistisches Gefühl von Schwerelosigkeit und der durch Flugbewegungen aufkommenden Fliehkräfte zu vermitteln. Der Benutzer wird mit einem Pilotenoverall an einem Seilsystem befestigt, das mit pneumatischen Muskeln als Membran-Kontraktions-System auf dessen Bewegung reagieren kann. Ein „Head Mounted Display“ mit stereografischer Visualisierung versorgt die visuellen, ein Kopfhörersystem die auditiven Sinne. Mittels intuitiver Bewegung der Arme wird die Fortbewegung durch die künstlich geschaffene Welt ermöglicht.

Die stereografische Berechnung der Darstellung im Datenhelm (HMD) versorgt den Benutzer mit ausgewählten physiologischen Parametern. Die psychologischen Raumanhaltepunkte werden durch die entsprechende Programmierung der virtuellen Welt – wie bei den vorangegangenen Beispielen – berücksichtigt. Mit dem Tonsystem des Datenhelmes können auch die auditiven Parameter auf die Wahrnehmung Einfluss nehmen [AEC 2008].

Abb. 3-19: Humphrey II, AEC 2008.

3.2.2.6 CAVE

Der Begriff Cave Automatic Virtual Environment (CAVE), wörtlich Höhle mit automatisierter und virtueller Umwelt, bezeichnet einen Raum zur Projektion einer dreidimensionalen virtuellen Welt. Das NCSA definiert CAVE als "an immersive virtual reality facility designed for the exploration of and interaction with spatially engaging environments". Eine CAVE kann auf verschiedene Weisen realisiert werden. Eine Möglichkeit ist ein Würfel mit bis zu 6 Projektionsflächen, d.h. unter Umständen wird auch ein gläserner Boden von unten mit Projektoren bestrahlt oder/und eine Wand zum Betreten des Raumes verschoben. So entsteht ein virtueller Raum, den ein Betrachter mit Hilfe einer Shutter Brille dreidimensional wahrnimmt. Diese aktive Brille öffnet und verschließt mit hoher Geschwindigkeit abwechselnd die Sicht des linken und des rechten Auges. Rechenstarke Computer erstellen dann 96 Mal pro Sekunde abwechselnd für das linke und rechte Auge eine immer perspektivisch richtige Darstellung der Computergrafik. Zusätzlich ist der Würfel mit einem Surround Sound System ausgestattet und unterstützt mit diesem die räumliche Wahrnehmung. Dies geschieht in Abstimmung mit den sich ebenfalls im gleichen Rhythmus abwechselnden stereoskopischen Projektionen, so dass Teilnehmer den Eindruck eines perspektivischen Raumes erhalten. Mittels eines Tracking Systems werden die Bewegungen der Personen im Raum, Kopfposition und Blickrichtung ermittelt und in Echtzeit in der Graphik umgesetzt. Der virtuelle Raum passt sich den Bewegungen an, so dass es für den Betrachter möglich wird, die virtuelle Szene durch Blicke und Bewegungen zu erforschen und mit ihr zu interagieren. Im Unterschied zu der Verwendung von Head Mounted Displays oder Boom-Interfaces kann der Teilnehmer im CAVE seinen eigenen Körper innerhalb der virtuellen Realität sehen. Die „CAVE“ wurde mit dem Ziel, ein brauchbares Werkzeug der wissenschaftlichen Visualisierung zu schaffen, entworfen. Durch das Ausmaß von 3x3x3 Metern können mehrere Menschen gleichzeitig in die virtuelle Realität eintauchen [AEC 2008b].

Der Einsatz der Stereoskopie bewirkt die Verwendung einiger physiologischer Parameter für die Tiefenwahrnehmung. Die Projektion auf mehrere Flächen um den Benutzer verursacht keine Einschränkung der retinalen Bildgröße. Das komplette Sehfeld wird für die Informationsübertragung ausgenutzt und damit der immersive Grad erhöht [Cruz-Neira et al 1993].

Abb. 3-20: CAVE, AEC 2008b.

3.2.2.7 Echt 3D Lösungen

Zu den Echt-dreidimensionalen Systemen sind alle voxelbasierten Verfahren, das sind elektro-holographische und volumetrische Verfahren, sowie sphärische Displays als Sonderform zu zählen. Im Unterschied zu den voxelbasierten 3D-Sicht-Geräten wird bei sphärischen Displays der 3D-Eindruck durch die Form des Sichtgerätes selbst wiedergegeben. Für voxelbasierte Verfahren kann folgende Kategorisierung vorgenommen werden:

- Elektro-holographische Displays, die aus einem Laser-Scanner-Spiegel-System mit vertikalem Diffusor bestehen. Die schwerwiegendste Einschränkung: Informationen können nur monochrom dargestellt werden. Die erforderliche Datenrate ist extrem hoch, und es sind nur computergenerierte Modelle darstellbar. Entwickler ist das MIT Media Lab.
- Volumetrische Verfahren, die die Einschränkung aufweisen, dass die dargestellten Objekte transparent erscheinen, da die Vordergrund-Voxel das Licht des Hintergrundes nicht absorbieren können.
- Beim Vector-Scan-Verfahren bildet ein Laserscanner das zentrale Bauelement. Die Doppelhelix aus weiß beschichtetem Kunststoff stellt 40 000 Voxel je Farbe dar. Entwickler ist die Uni Stuttgart.
- Die Raster-Scan-Methode „Perspecta“ zeigt 200 radial versetzte Bilder mit 768 x 768 Pixel, acht Farben, Bildfrequenz 20Hz und erreicht so 90 Mio. Voxel. Entwickler ist die Fa. Actuality Systems.

Zu den ersten Prototypen eines sphärischen Displays zählt das „Fully Immersive Spherical Projection System“ (auch als „Cybersphere“ bzw. als „SPIN“ Spherical Projection Interface bezeichnet) [Fernandes 2003]. Der Hersteller VR Systems UK entwickelte dieses in Verbindung mit immersiven Reality-Systemen zur Überwindung der begrenzten Bewegungsfreiheit (z.B. Reichweite des Head-Tracking-Systems). Kern dieses sphärischen Projektionssystems ist eine lichtdurchlässige Kugel (Durchmesser 3,5 m), welche in einer Vorrichtung gelagert ist, die eine Rotation der Kugel in allen Richtungen erlaubt. Der Betrachter gelangt über einen verschließbaren Einstieg in das Innere der Kugel und versetzt durch seine Bewegung die Kugel in Rotation. Dadurch, dass in der Kugel praktisch kein visueller Kontakt zur Außenwelt besteht, taucht der User gleichsam in die virtuelle Umgebung ein, die auf diese Kugel projiziert wird.

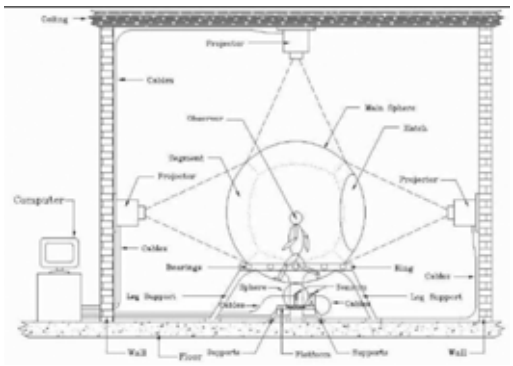


Abb. 3-21: Cybersphere, Fernandes 2003.

Die verfügbaren Übertragungsmedien/Schnittstellen visueller Systeme bieten verschiedenste Auflösungen, die die semiotische Richtgröße bestimmen. Generell ist die hohe Auflösung des traditionellen Druckverfahrens nicht erreicht. Das Auflösungsvermögen der Übertragungsmedien für 3D entspricht der Auflösung des Auges oder ist sogar geringer. Allerdings liegt ihre Bedeutung auch in der Unterstützung sämtlicher menschlicher Tiefenwahrnehmungsparameter und damit in unterschiedlichen Immersionsgraden, d.h das menschliche visuelle Erfassungssystem wird unterschiedlich intensiv unterstützt. Die Parameter für die Vermittlung von 3D erlauben eine Klassifizierung der Übertragungsmedien. Im Folgenden sollen die Tiefenwahrnehmungsparameter erläutert und eine Klassifizierung der Übertragungsmedien nach diesen Parametern durchgeführt werden.

3.3 Klassifizierung der digitalen Übertragungsmedien im Einsatz für 3D

Die digitalen Übertragungsmedien (Softcopy Lösungen) bieten zwar eine relativ schwache Auflösung, sie sind aber durch die Anzeige dynamischer Inhalte und Unterstützung der menschlichen Tiefenwahrnehmung gekennzeichnet. Ähnlich einer Kamera erzeugt die Augenlinse ein zweidimensionales Abbild der Umwelt auf der Netzhaut. Dennoch ist eine Raumwahrnehmung, also das Sehen von räumlicher Tiefe, möglich. Sie beruht auf zwei Prinzipien: Zum einen wird die Entfernung eines Objektes von dem Augapparat wahrgenommen (technische bzw. physiologische Wahrnehmung), zum anderen erfolgt über die Kenntnis der Welt und der darin vorkommenden Objekte eine Interpretation der räumlichen Tiefe (psychologische Wahrnehmung). Die Tiefenwahrnehmung in multimedialen Präsentationen bewirkt, dass eine kartografische Darstellung bei einem Nutzer einen echten dreidimensionalen, also räumlichen Eindruck, hervorruft. Somit wird diese Abbildung als kartografisches Raumbild bezeichnet [Bollmann 2002]. In diese Definition fallen auch die körperlichen kartenverwandten Darstellungen, wie Globus, Reliefkarte oder Reliefmodell. Im Weiteren werden die analogen – körperlichen – Beispiele außer Acht gelassen und nur Beispiele von digitalen Übertragungsmedien betrachtet.

Die multimedialen Präsentationen der 3D Kartografie werden durch die Charakteristiken des Begriffs Multimedia geprägt. Diese sind vor allem die computerbasierte Datenverarbeitung, Medienkombination, Multimodalität und Interaktivität [Dransch 2002]. Sie ermöglichen, je nach den technischen Voraussetzungen der Benutzerschnittstelle, eine umfassendere Informationsübertragung und Bedienung der menschlichen Sinneskanäle. Die visuellen Tiefenwahrnehmungsparameter werden in der Theorie des stereoskopischen Sehens festgelegt. Diese Parameter, „depth cues“ oder Anhaltepunkte für das räumliche Sehen, bestehen aus vier physiologischen und sechs psychologischen Komponenten. Die physiologischen sind die retinale Parallaxe, Konvergenz, Akkomodation und Bewegungsparallaxe. Die psychologischen

umfassen die retinale Bildgröße, lineare Perspektive, Luftperspektive, Verdeckung, Beschattung und den Texturgradienten [Kirschenbauer 2004]. Sie bilden die zentralen Elemente der räumlichen Wahrnehmung [Albertz 1997].

3.3.1 Physiologische Tiefenwahrnehmung

Die psychologischen Parameter beschreiben die menschliche „Technik" der visuellen räumlichen Wahrnehmung. So wird die dreidimensionale Welt auf die flachen Sphären unserer Augen – der Netzhaut – abgebildet und davon wiederum der dreidimensionale Raum als Wahrnehmung abgeleitet.

Die retinale Parallaxe ermöglicht grundsätzlich das räumliche Sehen. Sie wird auch als Horizontalparallaxe bezeichnet und liegt in der von der Augenbasis gebildeten Ebene. Ein räumlicher Punkt wird in den Augen auf unterschiedlichen Positionen der Netzhaut projiziert. Die Differenz der Netzhautposition – die horizontale Parallaxe – ist das Maß der Entfernung. Das Verschmelzen beider Netzhautbilder zu einem Raumbild nennt man Stereoskopie – räumliches Sehen.

Die Akkomodation ist die „Scharfstellung" des Auges auf verschiedene Entfernungen. Sie erreicht eine scharfe Abbildung auf der Netzhaut. Eine Entfernungsableitung aus der Akkomodation ist nicht möglich.

Die Konvergenz ist eng mit der Akkomodation verknüpft. Für nahe Objekte ist der Konvergenzwinkel der Sehachsen groß, für entfernte Objekte klein. Für sehr weit entfernte Punkte wird die Konvergenz gleich Null – die Sehachsen sind parallel [Kraus 1994].

Die Bewegung im Raum ist für die räumliche Wahrnehmung unserer Umwelt von großer Bedeutung. Während einer Bewegung verschiebt sich jeder Punkt, den wir betrachten, auf unserer Netzhaut abhängig von seiner Entfernung und unserer Blickrichtung. Diese systematische Verschiebung nennt man Bewegungsparallaxe. Sie wird besonders beim Blick aus einem fahrenden Fahrzeug normal zur Fortbewegungsrichtung auffällig [Albertz 1997].

3.3.2 Psychologische Tiefenwahrnehmung

Unabhängig von der technischen Ausformung des Sehapparates unterstützen die psychologischen Parameter die Entstehung eines Raumbildes. Sie beeinflussen die Beziehungen zwischen Realität und wahrgenommenem Bild und verstärken so den räumlichen Eindruck.

Die retinale Bildgröße ist ein Maß für die Einschränkung des Sehfeldes. Das Sehfeld eines gesunden Menschen ist nur durch die Fläche der registrierenden Bildpunkte auf der Netzhaut begrenzt. Der Raum um das Individuum weist grundsätzlich keine Einschränkungen auf. Benutzerschnittstellen, die flächenmäßig begrenzt sind, weisen diesen unterstützenden Parameter auf Grund der Sehfeldbegrenzung nicht auf.

Ein Objekt konstanter Größe wird mit abnehmender Entfernung immer größer wirken. Wegen der linearen Perspektive entsteht der Eindruck, dass weiter entfernte Objekte kleiner sind. Jedoch wird man nicht eine Größenänderung des Objektes annehmen, sondern diese durch die Entfernungsabhängigkeit mit dem perspektiven Einfluss in Zusammenhang bringen.

In einer Landschaft werden näher liegende Bereiche kontrastreicher als entferntere Bereiche wahrgenommen. Diese Eigenschaft hängt mit dem Dunstanteil der Atmosphäre zusammen. Weiters weisen die Farben aus physikalischen Gründen mit wachsender Entfernung immer mehr Blauanteile auf. Diese Effekte werden in der Wahrnehmungspsychologie als Luftperspektive zusammengefasst.

Der Effekt der Verdeckung erscheint zunächst als einer der primitivsten psychologischen Tiefenwahrnehmungsparameter. Bereits bei den Ägyptern wurde dieser Parameter für die Übertragung der Tiefeninfor-

mation eingesetzt. Objekte werden teilweise von näher liegenden verdeckt. Damit dieser Prozess wirksam werden kann, müssen Figuren für die einzelnen Objekte erkannt werden. Die Ergänzung von teilweise sichtbaren zu ganzheitlichen Objekten muss Bestandteil dieses komplexen Prozesses sein, um über die räumliche Verteilung Auskunft geben zu können.

Bei der Beschattung wirken die Einfallsrichtung des Lichts, die geometrische Form des schattenwerfenden Objektes und die Form der beschatteten Oberfläche zusammen. Obwohl die Wahrnehmung die einzelnen Komponenten gemeinsam verarbeitet, setzen diese enthaltene Informationen voraus. So wird ein Schlagschatten nur richtig erkannt, wenn die Einfallsrichtung des Lichts richtig interpretiert und die Form der Oberfläche richtig erkannt wird. Allgemein dient die Beschattung zur Erkennung von sonst nicht sichtbaren Objektformen.

Produziert eine Beleuchtungssituation keine Schlagschatten, sondern nur weiche Hell-Dunkel-Übergänge, spricht man von einem Helligkeitsgradienten. Dieser ist eine Form des Texturgradienten, der die Wahrnehmung der Oberflächenform unterstützt. Auf der unebenen Fläche entstehen unterschiedliche Beleuchtungsstärken – je nach Einfallswinkel der Beleuchtung. Weitere Formen des Texturgradienten sind Größen- und Dichtegradienten, die durch den Vergleich gleichartiger Objekte oder gleichmäßiger Muster den räumlichen Eindruck unterstützen [Albertz 1997].

3.3.3 Klassifizierung der Übertragungsmedien

Die zentralen Elemente der räumlichen Tiefenwahrnehmung bilden die Schnittstelle zwischen Information, Übertragungsmedium und Wahrnehmung/Verstehen. Generell wird der kartografische Kommunikationsprozess durch die menschliche Wahrnehmung über unterschiedliche Sinnesorgane und eine anschließende Verarbeitung im Gehirn geprägt. So wird in der Multimediakartografie der Versuch unternommen, mittels verschiedener Übertragungsmodalitäten die raumbezogene Information effizienter zu präsentieren. Für die multimediale 3D Kartografie scheinen sich die Wahrnehmungsparameter, die anschließenden psychologischen Prozesse und die Einwirkung des Erfahrungsstandes des Nutzers in diese Prozesse stärker auf das Ergebnis – der wahrgenommenen Realität – auszuwirken als in der zweidimensionalen Kartografie. Von besonderer Bedeutung sind hier die Parameter für die Tiefenwahrnehmung, die für die Bildung eines wahrgenommenen Raumes zuständig sind. Je mehr dieser Komponenten von einer Benutzerschnittstelle verwendet werden können, umso besser wird der wahrgenommene Raum in unserem Kopf abgebildet [Albertz 1997] bzw. umso näher wird die Wahrnehmung der Präsentation an den Wahrnehmungsgewohnheiten des natürlichen Raumes liegen. So bieten die zentralen Parameter der Raumwahrnehmung (depth cues) die Möglichkeit, verwendete Übertragungsmedien nach ihrer Unterstützung der „depth cues“ zu klassifizieren, da die verschiedenen Darstellungsweisen der 3D Kartografie grundsätzlich durch die Theorie der räumlichen Perzeption – des stereoskopischen Sehens –, die physikalischen Parameter des Displays und die grafische Semiologie geprägt werden. Mit diesen Grundlagen wird eine Klassifizierung der Übertragungsmedien in die drei Typen Pseudo3D, Parallax3D und Voll3D ermöglicht.

Pseudo 3D bezeichnet die perspektiv-monoskopischen Visualisierungen kartografischer 3D Darstellungen auf einem flachen Medium – Papier oder Bildschirm. Diese, üblicherweise als kartografische 3D Darstellung bezeichneten, Präsentationen verwenden nur psychologische Tiefenwahrnehmungsparameter.

Bei Parallaxen 3D (P3D) Darstellungen werden ausgewählte bi- und monokulare psychologische und physiologische Tiefenparameter (depth cues) ausgenützt. Im Wesentlichen umfassen P3D Bilder die Technologien der Chromostereoskopie, des Pulfrich Effekts, der Stereoskopie und der Multistereoskopie (z.B.: Lentikularlinsenverfahren auf Papierträger).

Darstellungen des Voll 3D setzen alle bi- und monokularen psychologischen und physiologischen „depth cues“ ein. Bei dieser Art von Raumbildern bestehen in allen Richtungen kontinuierliche Parallaxen Effekte. Die zwei vorrangigen Technologien der Herstellung sind „volumetric imaging“ – die volumetrische Bildherstellung mit „light emitting volume“-, „rotating helix mirror“- oder rotating matrix display“- Verfahren – und die Holografie mit echten Hologrammen [Bollmann 2002].

Im Folgenden werden ausgewählte Schnittstellen nach ihrer möglichen Verwendung für eine multimediale 3D kartografische Anwendung verglichen. Sie unterscheiden sich durch die Möglichkeit, die verschiedenen Tiefenwahrnehmungsparameter für eine Informationsübertragung gezielt einzusetzen. Neben weit verbreiteten Visualisierungstechniken, wie dem Computerbildschrim, werden auch zukünftige – als Prototypen oder in Entwicklung befindliche – Technologien in den Vergleich eingebunden. Die Intention mancher dieser neuen Entwürfe ist, den virtuellen Raum greifbar und erlebbar zu machen. Andere versuchen erst gar nicht die Realität nachzubilden, sondern ergänzen diese mit virtuellen Objekten, Symbolen und Interpretationen.

Tabelle 3-C: Einteilung nach Leistungsfähigkeit der Übertragungsmedien.

	Phys. 1	Phys. 2	Phys. 3	Phys. 4	Psych.1	Psych.2	Psych.3	Psych.4	Psych.5	Psych.6	Audit. 1	Audit. 2	Audit. 3
Bildschirm (Pseudo 3D)				ja		ja	ja	ja	ja	ja	ja*	ja*	ja*
Bildschirm (Stereosk.)	ja			ja		ja	ja	ja	ja	ja	ja*	ja*	ja*
CAVE	ja	ja		ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
Humphrey	ja			ja	ja**	ja	ja	ja	ja	ja	ja*	ja*	ja*
Augmented Reality	ja	ja	ja	ja	ja**	ja	ja	ja	ja	ja	ja*	ja*	ja*

Erklärung der Tabelle – Die Schnittstelle kann zur Informationsübertragung folgende Parameter verwenden:

Phys.1…die retinale Parallaxe, Phys.2…Konvergenz, Phys.3…Akkomodation, Phys.4…Bewegungsparallaxe,

Psych.1…keine Einschränkung der Bildgröße, Psych.2…lineare Perspektive, Psych.3…Luftperspektive, Psych.4…Verdeckung, Psych.5…Beschattung, Psych.6…Texturgradienten,

Audit.1…Lautstärke, Audit.2…frequenzabhängige Tonhöhe, Audit.3…Timbre des Klangs

*…mögliche Verwendung der Parameter bei entsprechender technischer Ausrüstung (Surround oder Stereo Sound),

**…je nach Art des Displays (Sehfeldeinschränkung).

In der „Augmented Reality“ wird die Realität mit virtuellen Objekten ergänzt. Es wird nicht der Versuch unternommen, eine künstliche Welt zu schaffen. Die Problematik der hohen Rechenleistung für die Berechnung einer detailliertesten Nachbildung der Natur entfällt bei dieser technischen Lösung. Die Probleme entstehen hier bei der genauen Positionierung des Benutzers und der virtuellen Objekte in seinem Display, welches besonders zur Aufrechthaltung der psychologischen Tiefenwahrnehmungsparameter beiträgt. Beispielsweise kann sehr leicht die lineare Perspektive durch „falsche“ Positionierung zerstört oder durch fehlende Schatten in der realen Umgebung die Zuordnung eines virtuellen Elementes erfolglos werden. Die Problematik der „depth cue“ Homogenität für die Tiefenwahrnehmung wird besonders

beim Mischen von Realität und Virtualität auffällig, da alle Parameter der Raumerfassung gegenseitig präzise abgestimmt werden müssen, um keine Konflikte zu erzeugen.

Die Einteilung der Übertragungsmedien gemäß ihrer Unterstützung der räumlichen Tiefenwahrnehmungsparameter beschreibt ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich immersiver und „intuitiver" Informationsübertragung, sodass menschliche Sinne direkt unterstützt werden. Für die Geo-Medientechnik werden so Begrifffe definiert, die Wirkungen und Besonderheiten betreffen.

3.3.4 Wirkung und Besonderheiten der Geo-Medientechnik für 3D

Übertragungsmedien im Einsatz der Geoinformations-Vermittlung unterstützen mit den „depth cues" die Tiefenwahrnehmung und lassen sich hinsichtlich dieser Unterstützung klassifizieren. Generell wird dadurch ein intuitives Erleben/Wahrnehmen unterschiedlicher Eindringlichkeit ermöglicht. Es entsteht ein Maß für die „naive geography" - der intuitiv aufgenommenen und verarbeiteten Geoinformation – [Egenhofer 1995], welches der Eindringlichkeit der 3D Präsentation folgt und als Immersionsgrad bezeichnet werden kann.

Der Immersionsgrad ist also ein Maß für die intuitive und richtige Vermittlung der Information. Dies bedeutet, dass die Information mit Hilfe des Übertragungsmediums den üblichen Wahrnehmungsgewohnheiten des Menschen entsprechend vermittelt wird. Damit die Informationsübertragung ein Maximum ihres Potentials entwickeln kann, ist es wichtig, zwei Begriffe/Parameter in Zusammenhang mit dem Übertragungsmedium zu berücksichtigen: die Ausdruckskraft (expressiveness) und Effizienz (effectiveness) [Mackinlay 1986].

Die Ausdruckskraft (expressiveness) nimmt Bezug auf die Kapazität des Übertragungsmediums. Sie betrifft die semiotische Fragestellung aller darzustellenden Objekte und Details mit der Intention, die Semantik aufrecht zu erhalten. Ist es möglich, jede detaillierte Information mit der geringen Auflösung und den wenigen Kommunikationsparametern des Interface darzustellen oder müssen immanente Eigenschaften in Kauf genommen werden? Wenn beispielsweise die Auflösung des Übertragungsmediums geringer ist als die darzustellenden Detailelemente, dann wird das „expressiveness" Kriterium nicht erfüllt. Einige Detailelemente werden dann nicht mehr wahrnehmbar sein. Nur wenn die Auflösung des Interface gleich oder höher ist als die Anzahl der Detailelemente, dann kann eine eindeutige Beziehung von Darstellung und semiotischem Element erzielt werden.

Die Effizienz (effectiveness) berücksichtigt sowohl ästhetische Angelegenheiten als auch die perzeptive Informationsaufnahme, die immersive Nutzung des Interface, Optimierungen für Datenvereinfachung und visuelle Rendering Verbesserungen. Die Qualität der Präsentation und damit der Erfolg der Kommunikation hängt vom Verständnis und der Akzeptanz des Benutzers ab. Die Simulation oder Rekonstruktion einer interaktiven Umgebung, die bei der Interaktion, Wahrnehmung/Multimodalität ähnlich der Umgebung des täglichen Lebens ist, verbessert die Präsentation bezüglich Verständnis und Akzeptanz. Man spricht dann auch von „naive geography", wenn der Inhalt/geografische Informationsraum mit natürlichen Verhalten exploriert und wahrgenommen wird.

Sowohl die Ausdruckskraft als auch die Effizienz folgen den theoretischen Überlegungen der räumlichen Wahrnehmungsprozesse und der Geo-Medientechnik. Sie bilden zwei grundlegende Größen, die eine erste Qualitätsüberprüfung von Präsentationen hinsichtlich der Informationseindeutigkeit als auch des generellen Verständnisses ermöglichen. Besonders bedeutend sind diese Parameter, da durch die Imitation des dreidimensionalen Raumes mit dem Übertragungsmedium als Darstellungsfläche kognitive Prozesse direkt unterstützt und ausgenützt werden sollen.

3.4 Zusammenfassung der Geo-Medientechnik

Dieses Kapitel der geo-medientechnischen Rahmenbedingungen dient der Definition einer semiotischen Richtgröße, die im Zusammenspiel von visuellen Informationsmitteln, Übertragungsmedien und dem menschlichen visuellen System hilft, eine eindeutige Aussage über die zu erwartende Qualität der Informationsvermittlung zu formulieren. Demnach setzt sich die semiotische Richtgröße aus den Beziehungen von Informationsmittel, Übertragungsmedium und Auge zusammen, welche vor allem die Abhängigkeit von der Betrachtungsdistanz und dem technischen Auflösungsverhalten des Übertragungsmediums betont. Die semiotische Richtgröße umfasst mit den angeführten Beziehungen die Definitionen der perzeptiven Schwelle und der Mindestdimension. Die perzeptive Schwelle beschreibt die Limitierung des menschlichen Sehapparates und findet sich im Auflösungsvermögen des Auges wieder [Neudeck 2001, S. 10, Abs. 2]. Die Mindestdimension beschreibt die minimale Ausdehnung von Informationsinhalten, sodass diese erkannt und einer Informationsverarbeitung zugeführt werden können [Malić 1998, S. 72, Abs. 5]. In Abhängigkeit von der Auflösungsleistung des Übertragungsmediums werden Anforderungen an das Informationsmittel gestellt, die sich in der Eindeutigkeitsbeziehung formalisiert abbilden. Die Relation des Auflösungsvermögens Auge und der Eindeutigkeitsbeziehung führt zur Definition einer semiotischen Richtgröße, die formalisiert in Entscheidungsprozesse eingebunden werden kann. Dies betrifft im Folgenden besonders die Regelung von Geometriedetails (Level of Details), Ausprägung von grafischen Parametern und Renderingverfahren.

Die Auflösung oder Bildpunktdichte kristallisiert sich zu einem zentralen Qualitätsmerkmal, mit dem den Anforderungen des Wahrnehmungsapparates entsprochen oder dieser sogar „überlistet“ werden kann. Das Auflösungsverhalten des Übertragungsmediums folgt seiner technischen Bauweise. Die Bauweise der meisten nutzbaren Medien erfordert eine Rasterung der Information, auch wenn diese in der Datenhaltung als Vektordaten vorliegt, da die Darstellung in einer gerasterten und daher auflösungsspezifischen Fläche erfolgt. Weiters benutzt die Vermittlung von dreidimensionalen Inhalten verschiedene Verfahren, um eine intuitive und immersive Informationsübertragung, besonders der dritten Dimension, zu ermöglichen. Dafür nutzen diese Verfahren die menschlichen Parameter der Tiefenwahrnehmung, die entsprechend der Nutzung in Pseudo3D, Parallax3D und Voll3D gruppiert werden. Es entsteht daraus ein Immersionsgrad, der die Wahrnehmungsintensität der Präsentation beschreiben kann.

Die Klassifizierung der Übertragungsmedien nach ihren Immersionsgrad, der Eindeutigkeitskoeffizient und die semiotische Richtgröße bilden für die weitere Strukturierung eines semiotischen Modells für die Kommunikation mit 3D bedeutende Faktoren, die bei Variationen der Betrachtungsvariablen, der Berechnung der Sichtbarkeit am Medium und den psychologischen Wechselwirkungen eingebunden werden müssen. Diese Faktoren steuern die eindeutige Wahrnehmung des Informationsinhaltes und legen somit einen Grundstein für die richtige kognitive Verarbeitung und das unmissverständliche Verstehen des Präsentationsinhaltes.

4 Strukturierung eines semiotischen Modells für 3D

Das Zusammenspiel von Symbolik, Information und kognitiver Verarbeitung kann in der Kartografie generell durch einen „Informationsgewinn“ charakterisiert werden. Während man bei grafischen Gestaltungen für den Werbeeinsatz oder der gezielten Meinungsbildung (Propaganda) weniger den informativen Inhalt als die psychologische Wirksamkeit als Hilfsmittel verwendet [Kroeber-Rhiel 2000], stehen in der Kartografie der Inhalt der gesamten Darstellung und die Beziehungen der einzelnen Elemente untereinander bei der Informationsvermittlung im Vordergrund (es sollen die raumbezogenen Informationen mit grafischen Hilfsmitteln vermittelt werden). Natürlich können auf Grund einer differenten Kodierung unterschiedliche Wirksamkeiten der Darstellung beobachtet werden. Es stellt sich demnach die Frage, ob auch die 3D „Grafik“ mit ihren generellen Charakteristiken und dem ursprünglichen Ziel, eine virtuelle Realität zu schaffen, auch semiotischen Wirkungen unterliegt und so einen weiteren Informationsgewinn gegenüber bspw. der Grundrissprojektion bieten kann. Mit den verschiedenen Argumentationen zur Wissensvermittlung, der individuell verständlichen Informationspräsentation oder Wissensbildungs-Unterstützung räumlicher Strukturen kann die Bedeutung von 3D für eine intuitive Raumerfassung anerkannt werden. Kommunikationstheoretischen Ansätzen folgend wird „3D“ als allgemein verständliche Information angesehen, da der Mensch in seiner gesamten Entwicklung lernt, seine dreidimensionale Umgebung zu verstehen.

Für 3D Grafiken/Präsentationen ergibt sich eine notwendige Berücksichtigung technischer Charakteristiken von unterschiedlichen Übertragungsmedien/Schnittstellen, um die Wahrnehmung der Information zu gewährleisten. Mit den darauf angepassten semiotischen Aspekten können sowohl Regeln für Generalisierungsmaßnahmen in 3D als auch die Erhaltung der Bedeutung von Elementen und Kompositionen angeleitet werden. Zum Beispiel wird eine Klassifizierung mit der Visur der Kamera (horizontal oder vertikal zum Gelände) notwendig, da unterschiedliche Erfordernisse für die Darstellung von Grund- und Aufriss erkannt werden können. Die Aufrechterhaltung der Bedeutung von Elementen gibt dabei weitere Berücksichtigungen bei den Kodierungstätigkeiten vor. Das visionäre Ziel eines semiotischen Modells für 3D Kartografie folgt einer kartografisch interpretierten 3D Anwendung, die durch ihre Darstellungsform einen Informationsgewinn unterstützt. Die interpretative und sinngemäße Kodierung der Elemente kann neben der kognitiven Unterstützung der Raumwahrnehmung mittels 3D, ähnlich wie bei dem Unterschied von Satellitenbild und Karte, die gezielte Informationsaufnahme bereitstellen.

Die Eigenschaften einer 3D Umgebung bieten verschiedene Wege zur Strukturierung der Semiotik. Während bei der traditionellen 2D Karte die Darstellung durch die geografische Projektion auf eine Ebene geprägt und mittels Maßstab die Informationsdichte fixiert wird, sind diese Parameter in der 3D Umgebung weitgehend variabel. Die geografische Projektion „mutiert“ in 3D zu einer generellen Projektion auf

dem Übertragungsmedium, die sich aus verschiedenen Projektionen, wie der geografischen Projektion, der Kameraprojektion und/oder der Darstellungsprojektion, zusammensetzt. Ein konstanter Maßstab ist einerseits durch die perspektiven Eigenschaften und andererseits mit dem variablen Abstand von Kamera und Informationselementen (durch die Kamerabewegung im dynamischen 3D Umfeld) nicht vorhanden. Das Zusammenspiel der Eigenschaften in 3D beeinflusst die Kartengrafik, die in diesem Umfeld mit den vorgegebenen Eigenschaften der 3D Umgebung adaptiv sein sollte. Ein einziger semiotischer Entwurf, der sich auf eine spezifische Informationsdichte, Maßstab und Blickwinkel bezieht, führt generell zu keinem „kartografisch", brauchbaren Ergebnis. Vielmehr werden Funktionen und Beziehungen zwischen den 3D Parametern erforderlich, um relativ natürliche bzw. fließende grafische Raumdarstellungen abbilden zu können. Die Semiotik kann unter drei großen Gesichtspunkten im Zusammenhang mit dem Übertragungsmedium strukturiert werden: die Gesamtprojektion der 3D Umgebung, das grafische Element und die Wirkung von psychologischen Tiefenwahrnehmungsparametern.

Die Gesamtprojektion der 3D Umgebung verfolgt das Ziel, georäumliche Zusammenhänge aufrecht zu halten bzw. diese zu ermöglichen. Darunter versteht man einerseits die direkte Vergleichbarkeit von geometrischen Objekten, wenn diese beispielsweise durch Verzerrungen der Perspektive nicht gegeben ist, andererseits die „Sichtbarkeit" von Zusammenhängen, wenn kleine Flächen der Übertragungsmedien (wie Displays) nur begrenzte Ausschnitte von Situationen darstellen können und somit Interaktion für das Erschließen der Information erforderlich wird. Diese Interaktion in Form von Scrollen, Pannen oder Zoomen erfordert die Aufmerksamkeit des Rezipienten, benötigt also kognitive Leistung und lenkt generell von der eigentlichen Informationsaufnahme ab.

Das grafische Element bezeichnet den grafischen Inhalt der kartografischen 3D Darstellung und umfasst den Einsatz dieser grafischen und anderer Kartenelemente. Die grafischen Elemente unterliegen den Eigenschaften von 3D und des Übertragungsmediums. Diese schränken beispielsweise den verwendbaren Farbumfang für Diagramme wegen der Schattierung von Objekten ein. Die Kartenelemente werden in 3D neben punkt-, linien- und flächenhaften Elementen durch volumenhafte Elemente ergänzt, deren Einsatz der gezielten Informationsübertragung folgt, d.h. sich mit der Frage beschäftigt, ab wann „positionsbezogene" Elemente durch punkt- oder volumenhafte Elemente verkörpert werden sollen?

Die Anpassung der Darstellung an die psychologischen Tiefenwahrnehmungsparameter unterstützt oder stört die intuitive Vermittlung raumbezogener Information. Widerspricht beispielsweise eine Anordnung von Kartenelementen den Eigenschaften der linearen Perspektive, dann wird die intuitive Wahrnehmung gestört und mehr kognitive Leistung erforderlich, um diese Darstellungskonflikte wahrzunehmen und aufzulösen. Geeigneter erscheint die Berücksichtigung der psychologischen Tiefenwahrnehmungsparameter in Zusammenhang mit den Kartenelementen und der Gesamtprojektion, um sämtliche Leistung des Gehirns auf die gezielte Informationsaufnahme zu fokussieren.

Dieser Abschnitt 4 beschreibt allgemein die Eigenschaften von 3D Präsentationen im virtuellen Umfeld und zeigt eine Strukturierung des semiotischen Modells. Damit sollen zielgerichtete Lösungen bei der semiotischen Aufbereitung von kartografischen Applikationen ermöglicht werden. Die Problematik der Generalisierung, die in der traditionellen Kartografie mit Selbstverständnis berücksichtigt wird, ist bei 3D Präsentationen generell noch nicht üblich oder findet nur zögerlichen Einsatz. Dieser Umstand kann besonders mit den allgemeinen Eigenschaften und Wirkungen von 3D begründet werden, da die herkömmlichen Richtwerte für den Maßstab, die Informationsdichte oder Auflösung der Präsentationsfläche für die immanenten Eigenschaften der Präsentation nicht mehr direkt über das Übertragungsmedium, sondern über verschiedene Projektionen innerhalb der „Rendering-Pipeline" und vor der Präsentationsfläche festgelegt werden. Die allgemeinen Eigenschaften von 3D Präsentationen nehmen nicht nur Einfluss auf Generalisierungsmaßnahmen, sondern beeinflussen auch die Verwendung von kartografischen Ele-

menten innerhalb des virtuellen Umfeldes oder aber die visuellen Variablen der grafischen Gestaltung. Beispielsweise ist es sinnvoll, ausgewählte punkthafte Objekte als Volumen darzustellen, um ihre markanten Eigenschaften des Aufrisses einzusetzen und somit Referenzen für den Rezipienten aufzubauen. Als weiteres Beispiel verringert sich der einsetzbare Farbumfang der visuellen Variable Farbe durch die Kombination mit Schattierung, Helligkeitsgradienten und Ähnlichem innerhalb der 3D Präsentation. Die eindeutige Zuordnung einer Farbklasse bei thematischen Darstellungen wird damit erschwert. Die Eigenschaften von 3D führen also direkt zu einer notwendigen Strukturierung des semiotischen Modells.

4.1 Eigenschaften von 3D Präsentationen

3D Präsentationen liefern je nach verwendeter Darstellungsprojektion, Betrachtungsvariablen, Lichtführung und der Unterstützung psychologischer Wahrnehmungsparameter besondere Eigenschaften für die Darstellung, die die Gewohnheiten des Rezipienten bei der Informationsaufnahme unterstützen oder hemmen. Während das natürliche Umfeld durch die ständige Präsenz als selbstverständlich angesehen wird, haben virtuelle Umgebungen je nach Unterstützung der Wahrnehmungsgewohnheiten Akzeptanzschwierigkeiten [Christiansen 1998, Linden 2000]. Die Erstellung eines virtuellen Umfeldes benötigt strikte technische Rahmenbedingungen, die erst eine Visualisierung auf einem Übertragungsmedium ermöglichen. So sollen aus unterschiedlichsten Daten, die sowohl in Vektor- als auch in Rasterformaten vorliegen, mit gegebenen Rechnerressourcen und geplanten Übertragungsmedien entsprechende Darstellungen erzeugt und ansprechende/unmissverständliche Visualisierungen möglichst in einem dynamischem Umfeld berechnet werden. Der technikbasierte Ablauf dieser Berechnungen folgt einem sequenziellen Ablauf, der Renderingpipeline genannt wird. Die Renderingpipeline beschreibt einzelne Aktionen für die Bilderberechnung einer 3D Umgebung. Eine hohe Frequenz (ab 12 Bilder/Sek.) ermöglicht den homogenen Ablauf der Bildersequenz und damit einen fließenden Eindruck der Kamerabewegung. Die Sequenz der durchzuführenden Aktionen/Berechnungen bietet die Möglichkeit, in diese Prozesse einzugreifen und die Darstellung dem semiotischen Modell entsprechend anzupassen [Foley 1994, Akenine-Möller 2002]. Die Renderingpipeline bildet somit die technische Voraussetzung für eine computergenerierte Darstellung. Das virtuelle Umfeld stellt für sich, neben dem sequenziellen technischen Ablauf, weitere Voraussetzungen, um in eine sichtbare Darstellung zu münden. Es ist ein Mindestmaß an Elementen notwendig, damit eine virtuelle Welt sichtbar wird. Die unterschiedlichen Ausprägungen des virtuellen Umfeldes (mit verschiedenen Elementen) führen zu verschiedenen Begrifflichkeiten, die mit einer kurzen Erklärung erläutert werden sollen. Letztlich können die wichtigsten Eigenschaften eines 3D Environments angeführt werden, um im Weiteren hinsichtlich eines Informationsgewinnes diskutiert werden zu können.

4.1.1 Der Berechnungsablauf - die Renderingpipeline

Der Weg von der mathematisch-topologischen Beschreibung einer Umgebung bis zum gerasterten Bild auf einem Übertragungsmedium wird in der Computergrafik als Renderingpipeline oder Grafikpipeline bezeichnet. Darin werden beispielsweise Bildschirmkoordinaten in Gerätekoordinaten transformiert, die Texturierung, das Clipping oder auch das Antialiasing berechnet [Foley 1994].

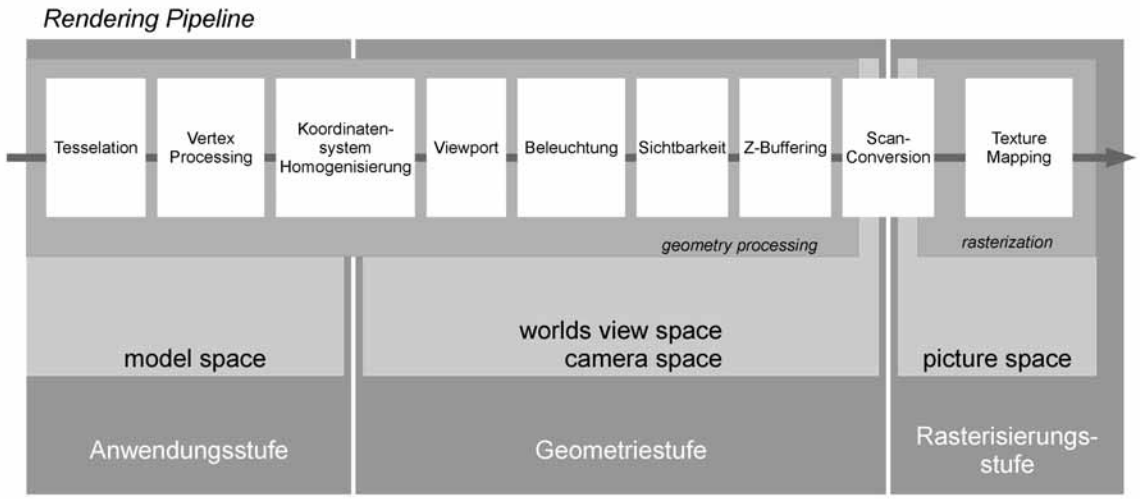


Abb. 4-1: Die Renderingpipeline.

Generell bestehen die verarbeitbaren 3D Daten aus Knotenanhäufungen, so genannten Vertex-Streams. Ein Vertex beschreibt einen Eckpunkt eines Objektes und ist meist Bestandteil eines Drahtgitters (Mesh), das je nach Formatierung Primitive oder 3D Modelle mit einer Liste von einfachen Punkten, Linien oder Dreiecken bildet. Die Vertices werden innerhalb der Pipeline mit verschiedenen Einzelschritten transformiert, wobei ein Transformationsergebnis den Ausgangspunkt für folgende Transformationen bildet, so lange bis eine Darstellung für ein Übertragungsmedium erreicht ist. So wird bspw. die Abbildung von Weltkoordinaten auf die Bildschirmkoordinaten „Screen Mapping“ genannt [Blythe 1999, Abrash 1997].

Die Serialisierung der notwendigen Aktionen erfordert eine hohe Parallelisierbarkeit von mehreren Pipelines, um eine höhere Berechnungs- bzw. Transformationsrate zu erreichen und z.B. so eine „fließende“ Kamerabewegung zu berechnen. Die Parallelisierung der Aktionen wird auf dem Grafikchip realisiert, der je nach Architektur mit einer unterschiedlichen Anzahl von unabhängigen Vertex- und Pixelpipelines ausgestattet ist [Williams 2007]. Da die Aufgaben/Berechnungen in der Pipeline generell ident sind, werden diese komplett in die Grafikhardware eingebettet. Somit ergibt sich ein enormer Geschwindigkeitsvorteil für die Standardberechnungen. Frei programmierbare Vertex- und Pixel- Shader bilden die Ausnahme [Akenine-Möller 2002]. Damit die Programmierung nicht direkt über die Hardware stattfindet und von dieser unabhängig erfolgen kann, werden so genannte Grafik-API´s, die auch bei der Parametrisierung helfen, eingesetzt. Die wichtigsten Beispiele für diese, die darunter liegende Hardware abstrahierenden Komponenten, sind Direct3D oder OpenGL. Neben der Parallelisierung der Pipelines wird über softwarebasierte Verfahren die Anzahl der zu verarbeitenden Vertices und Dreiecke gering gehalten, um eine weitere Geschwindigkeitserhöhung bei der Berechnung zu erzielen. Diese Verfahren benutzen meist „Hidden Surface Removal“ Algorithmen, wie Binary Space Partitioning, Octrees oder Portal-Based Rendering, um von der Kamera nicht sichtbare Vertices aus der Renderingpipeline auszuschließen.

Die Arbeitsschritte der Renderingpipeline lassen sich in die zwei Klassen Geometrie- und Rasterverarbeitung einteilen, wobei bei der Geometrieverarbeitung auf die Objekt-/Modellkoordinaten eingegangen wird und die Rasterverarbeitung auf die Verarbeitung der Texturdarstellung fokussiert.

4.1.1.1 Die Geometrie Verarbeitung

Die effiziente Verarbeitung von 3D Information setzt ein einheitliches Verarbeitungsformat innerhalb der Renderingpipeline voraus. Demnach werden mit der Tesselation alle Eingangsdaten in ein einheitliches Format übergeführt, welches Primitive und Meshes in ihre eigentlichen Bestandteile (Punkte, Linien und

Dreiecke) zerlegt, die grundsätzlich durch die Eckpunkte (Knoten/Vertices) festgelegt sind. Nach dieser Vereinheitlichung kann mit der Verarbeitung der Knoten begonnen werden, das so genannte Vertex Processing. Alle Transformationen (Rotation, Skalierung, Translation, etc.), die die Knoten betreffen, werden darin mit fester Verankerung auf der GPU (Graphic Processing Unit) durchgeführt. Alternativ könnten diese Transformationen auch über softwarebasiertes Shading (dem Vertexshader) durchgeführt werden.

Diverse Mapping Verfahren erlauben durch Modifikation der Knoten oder Shader die Veränderung von Geometrie oder Anbringung von Effekten für die resultierende Darstellung. Beispielsweise verändert eine „Displacement Map“ die Lage der Knoten und somit die Geometrie eines Objektes. Die Werte für das Displacement Mapping werden aus einer Textur genommen und von dort auf die Oberfläche nach dem Schema „je höher ein Wert, desto weiter entlang der Flächennormalen verschieben“ übertragen. Auf diese Weise entsteht ohne manuelle Manipulation der Geometrie eine „rauhe“ Oberfläche/Struktur. Ein ähnliches Verfahren, das Bump Mapping, verwendet auch Texturinformation, um unebene Oberflächen vorzutäuschen, verändert aber nicht die Knotengeometrie eines Objektes und ist deshalb performanter als Displacement Mapping. Weitere Mapping Verfahren fokussieren auf die automatische Berechnung von Texturen und die Herstellung verschiedener Effekte über die Zuordnung mehrerer Normalenvektoren für ein Dreieck.

Die Geometrieverarbeitung beginnt mit einer Vereinheitlichung des Koordinatensystems und führt weiters die Festlegung des Viewports, des Beleuchtungsmodells, der Sichtbarkeitsberechnung, der Perspective Division und des Z-Bufferings durch. Die Vereinheitlichung des Koordinatensystems wird notwendig, da sich anfänglich alle Vertex-Koordinaten in verschiedenen lokalen Koordinatensystemen, die sich relativ zu den vorhandenen Objekten beziehen, befinden. In diesem Modellraum (model space) orientieren sich alle Knoten eines 3D Modells an deren Ursprung. Die Überführung in ein gemeinsam genutztes Koordinatensystem erscheint für die Berechnungen sinnvoll. Deshalb wird mit der „Welttransformation“ (world transformation) ein globales Koordinatensystem aufgespannt, in dem alle Knoten eindeutig zuzuordnen sind.

Bei der Festlegung des Viewports wird der Standort und die Blickrichtung einer „virtuellen Kamera“ fixiert und das Ausmaß der sichtbaren Szene festgelegt. Es entsteht eine Ansichtsmatrix (view matrix), die mit der Ansichtstransformation (view transformation) erreicht wird. Alternativ können die Welt- und Ansichtstransformation zu einer gemeinsamen Modellansichtstransformation (Model View Transformation) zusammengefasst werden (bspw. in OpenGL), da die Berechnungsvorgänge grundsätzlich ident sind [Foley 1994].

Das Beleuchtungsmodell und das gewählte Shading Verfahren sammelt alle notwendigen Informationen über die Verteilung und Charakteristik des Lichtes. Generell wird eine bidirektionale Reflektanzverteilungsfunktion verwendet, die angibt, wie die Intensität und Farbe für einen Objektpunkt mit gegebener Flächennormale berechnet wird. Ein gängiges Modell, das sich einigermaßen profiliert hat, aber vollständig empirisch aufgebaut ist, ist das Modell nach Phong. Andere Modelle, die in Zukunft mehr Anwendung finden könnten, sind das Schlick-Beleuchtungsmodell oder das Per-Pixel-Lighting [Pharr 2004]. Die Auswahl der Normalen, für die das Beleuchtungsmodell herangezogen wird, bestimmt das Shading. Eine der verbreitetsten Shading Verfahren ist das Gouraud Shading, welches die Farbwerte an den Knoten (den Eckpunkten der Dreiecke) berechnet und für jeden Punkt der Dreiecksoberfläche aus den anliegenden Knotenwerten interpoliert. Für eine möglichst homogene Darstellung werden benachbarte Knoten in die Berechnung miteinbezogen. Gegensätzlich interpoliert das Phong Shading die Flächennormalen der Knoten anstatt der Farbwerte und benutzt diese zur Berechnung der Farbe [Blythe 1999].

Die folgende Sichtbarkeitsberechnung der Szene setzt die Projektion auf eine zweidimensionale Ebene mit gegebener Kameraposition, -drehung und -brennweite voraus. Hierbei muss zwischen perspektiver und orthogonaler Projektion unterschieden werden, die auch unterschiedliche Parameter zur Verfügung stellen. Die perspektive Projektion stellt den Sichtbarkeitsbereich als Pyramide dar, wobei sich in der Spitze der Pyramide die Kamera befindet. Die orthogonale Projektion bildet den Sichtbarkeitsbereich als Quader ab, der entfernte Objekte nicht kleiner darstellt als nahe. Bei der Sichtbarkeitsberechnung mit dem Ziel weniger Knoten für das Rendering heranziehen zu müssen, werden jene Knoten, deren Flächennormalen von der Kameravisur wegzeigen, weggelassen. Diese als „Back Face Culling“ bezeichnete Methode wird optional eingesetzt. Sinnvollerweise werden die Knoten auf den Sichtbereich reduziert, wobei neben der linken und rechten Begrenzung eine nahe und ferne Clipping Ebene definiert werden kann. Diese Ebenen sind Entfernungsbegrenzer, die zu nahe und zu entfernte Knoten für das Rendering und die Darstellung ausblenden. Liegt nur ein bzw. zwei Knoten außerhalb des sichtbaren Bereiches, weil die Clipping Ebenen das Dreieck zerschneiden, dann werden in der Schnittebene neue Knoten generiert, sodass das Dreieck bis zur Sichtbarkeitsgrenze dargestellt wird [Lance 1991].

Mit der Perspective Division werden die homogenen zweidimensionalen Koordinaten wieder in Dreidimensionale zurückgerechnet. Alle vorhandenen Werte werden abschließend mit der Viewport Transformations Matrix skaliert, um auf die Pixel Koordinaten und das Seitenverhältnis eines ebenen Übertragungsmediums übertragen werden zu können. Der für diese Ausgabe nicht mehr benötigte Z-Wert der Koordinate als Abstand eines Knotens zur Bildebene wird in einem Zwischenspeicher, dem Z-Buffer, abgelegt und bei der Rasterisierung verwendet. Die Auflösung des Zwischenspeichers entspricht dabei exakt der Größe/Pixeldichte des zu berechnenden Bildes.

4.1.1.2 Rasterisierung

Den Übergang zwischen Geometrieverarbeitung und Rasterisierung bildet die „Scan Conversion“, die die Dreiecke in einzelne Pixel aufspaltet. Zwei mögliche Verfahren prägen diesen Vorgang: die lineare Interpolation und die selten verwendete lineare Kanteninterpolation. Bei der linearen Interpolation wird ein Dreieck mittels horizontalem Schnitt in zwei kleinere zerlegt, sodass beide dieselbe Grundlinie haben. Mit anschließender Berechnung der Kantensteigung werden diese in Zeilen zerlegt und können so in einzelne Pixel aufgespalten werden [Heckbert 1989].

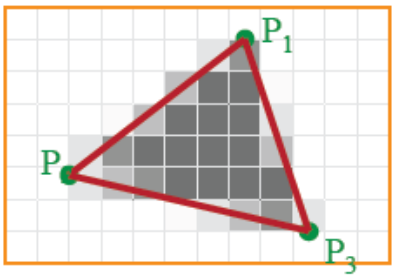


Abb. 4-2: Die Rasterisierung.

Im Schritt der Rasterisierung werden die Texturen der aufgeteilten und transformierten Primitive/Objekte umgewandelt, modifiziert, beleuchtet und auf die Primitiven übertragen. Bevor mit diesen Berechnungen begonnen wird, wird über einen Tiefentest mit den zu den Pixeln gehörigen Tiefenwerten des Z-Buffers die etwaige Verdeckung von Pixeln im Hintergrund überprüft. Verdeckte Pixel, sofern diese nicht wegen eines Alpha Blending (Transparenz der Oberfläche) im Hintergrund sichtbar wären, können für die Darstellung weggelassen werden. Alpha Blending kombiniert den zu schreibenden Farbwert mit ei-

nem möglicherweise bereits im Bild vorhandenen Pixelwert. Ein Alpha-Wert von eins überschreibt vorhandene Werte vollständig, d.h. das Pixel ist nicht transparent.

Mit dem Textur Mapping wird jedes Pixel mit einem Textur Pixel (texel) in Verbindung gebracht. Die Texturkoordinaten des Objektes werden dabei mit Berücksichtigung der Betrachtungsdistanz in Bildschirmkoordinaten umgerechnet. Verschiedene Filter, wie beispielsweise der Nearest Neighbor Filter, bilineare Filter oder bikubische Filter, ermöglichen die Skalierung der Texturen auf eine gewünschte Größe. Der Nearest Neighbor Filter kopiert für jeden benötigten Bildpunkt das nächstliegende Texturpixel und resultiert so in einem „pixeligen" Bild. Beim bilinearen Filter wird die gewichtete Mischfarbe der vier benachbarten Bildpunkte berechnet. Das noch aufwendigere bikubische Filtern verwendet bikubische Funktionen, um die Farbe des benötigten Pixels aus den angrenzenden Bildpunkten zu berechnen. Allerdings ist das bikubische Filtern für dynamisches Rendering zu aufwendig, sodass dieses Verfahren nur bei Bildverarbeitungssoftware eingesetzt wird. Vielmehr wird auf so genanntes MIP Mapping zurückgegriffen, wobei eine Reihe vorab verkleinerter Bilder der Textur verwendet wird.

Eine homogene Darstellung des Endbildes kann durch Antialiasingverfahren unterstützt werden, um keine „abgehackten", sondern „fließende" Kanten zu erhalten. Dieses Glätten der Kanten verwendet Verfahren der Überabtastung (oversampling) mit anschließendem Tiefpassfiltern. Die Darstellung wird also in höherer Auflösung als notwendig berechnet und nach dem Tiefpassfilter reduziert. Das resultierende Bild erscheint „weicher", kann jedoch für Texte oder scharf abzugrenzende Objekte den unerwünschten Effekt der Unschärfe mit sich bringen.

Die Renderingpipeline besteht also aus verschiedensten parallelen und seriellen Arbeitsschritten in unterschiedlichen Verarbeitungsräumen mit ihren eigenen Bezugsrahmen. Diese Räume oder Modellstufen heißen Anwendungsstufe, Geometriestufe und Rasterisierungsstufe. Die Anwendungsstufe umfasst den Modellraum (model space), der mittels „Model View Transformation" bzw. „World Transformation" gemeinsam mit der „View Transformation" in die Geometriestufe, dem „Worlds View Space" oder Kameraraum (Camera Space), übergeführt wird. Mit dem Schritt der „Scan Conversion" wird der Kameraraum in die Rasterisierungsstufe, also dem „Picture Space", konvertiert. In allen Stufen kann über geeignete Programmierung in die Berechnung bzw. Darstellung eingegriffen werden, wodurch die Berücksichtigung einer semiotischen Struktur für anvisierte Übertragungsmedien gegeben ist. Weiters wird es offensichtlich, dass eine Umgebung bestimmte Voraussetzungen benötigt, damit, ähnlich in der realen Welt, ein Bild sichtbar wird.

4.1.2 Voraussetzungen in 3D (Licht, Kamera, Textur)

Die Darstellung von 3D im Allgemeinen erfordert drei grundlegende Komponenten, um zu einem sichtbaren Ergebnis zu führen. Diese Komponenten sind die Lichtführung, die Kamera und die Schattierung/ Texturierung des Objektes/der Umgebung [Akenine-Möller 2002, Blythe 1999, Foley 1994].

4.1.2.1 Lichtführung

Die Lichtführung wird für eine allgemeine Beleuchtung, die Modellierung und die Lichtfokussierung benötigt. Als Lichtquellen können das Umgebungslicht, das gerichtete Licht, das Punktlicht und Spot-Lichter verwendet werden.

Das Umgebungslicht repräsentiert das reflektierte Licht in einer Szene. In der realen Welt wird das Licht nicht von den Objekten verschluckt. Nur ein Teil wird absorbiert, ein anderer wird meist diffus reflektiert. Diese Grundhelligkeit wird mit diesem Licht nachgebildet. Dieses Licht besitzt keine Position oder Richtung – es ist omnipräsent – und kann die Objekte nicht modellieren. Es entstehen keine Schatten

auf der Oberfläche. Charakteristisch ist, dass keine Richtung bzw. Herkunft beschreibbar ist, es keine reale Entsprechung hat und zur Modellierung einer Grundhelligkeit dient.

Das *gerichtete Licht* ist ideal zur Nachbildung der Sonneneinstrahlung. Es kann sowohl zur allgemeinen Umgebungsbeleuchtung als auch zur Modellierung verwendet werden. Die Quelle besitzt eine Leuchtrichtung, aber keine Position. Die Strahlen treffen parallel auf die Objekte und betreffen die gesamte Szene gleichartig. Helligkeitsunterschiede auf Grund einer Distanz zu einer Lichtquelle sind nicht gegeben, da die Position nicht existent ist. Die Reaktion der Objekte mit diesem Licht bewirkt einen Schattenwurf, der eine Struktur erkennbar macht und die Szene modelliert. Charakteristisch ist, dass der Lichtstrom aus einer bestimmten Richtung (Vektor) kommt, aus parallelen Strahlen besteht, d.h. einen konstanten Einfallswinkel auf ebene Flächen hat.

Punktlichter können mit Glühlampen verglichen werden. Von einer festgelegten Position aus werden Lichtstrahlen in alle Richtungen abgegeben. Die Intensität nimmt mit der Entfernung ab. Der Einsatz dient der Repräsentation lokaler Lichtquellen oder um Objekte einer Szene hervorzuheben.

Charakteristisch ist, dass das Licht in alle Richtungen ausgehend von einem Punkt mit gleicher Intensität strahlt, wobei sich der Einfallswinkel auf Ebenen ändert.

Spot-Lichter werden zur Hervorhebung bestimmter Flächen oder Objekte eingesetzt. Von einer bestimmten Position wird ein Lichtkegel mit festzulegender Richtung in die Szene eingefügt. Die Parameter des Kegels und der Helligkeitsabfall mit der Distanz werden der Gestaltung angepasst. Charakteristisch ist, dass diese Punktlichtquelle mit gewissem Öffnungswinkel einen idealen Lichtkegel in eine Richtung produziert, wobei sich der Einfallswinkel auf Ebenen ändert.

Die Lichtfarbe aller genannten Lichtarten kann verändert werden und hilft, die Lichtsituation den Tageszeiten entsprechend anzupassen.

4.1.2.2 Kamera

Die Definition der Kamera legt den Standort, die Blickweise und -richtung des „Benutzers“ fest. Folgend dieser Positionsbeschreibung/Definition (Standpunkt, Blickrichtung, Öffnungswinkel, …) wird das Bild berechnet (Rendering) und am Übertragungsmedium/Interface dargestellt. Kameras können einer unterschiedlichen geometrischen Abbildung folgen: meistens werden wegen der natürlichen Bildwirkung *zentralperspektive* Kameras verwendet. *Orthografische* Abbildungen verwenden eine Parallelprojektion, um die virtuelle Welt auf die Interface-Ebene abzubilden.

Man unterscheidet also zwischen perspektivischer und orthogonaler Projektion. Bei Ersterer spricht man auch von Fluchtpunkt-Projektion, da sich der Sichtbarkeitsbereich wie eine Pyramide verhält. Die “Spitze” dieser Pyramide befindet sich an der Position der virtuellen Kamera. Bei der orthogonalen Projektion verhält sich der Sichtbarkeitsbereich wie ein Quader. Das bedeutet unter anderem, dass auch entfernte Objekte nicht kleiner dargestellt werden als nahe.

4.1.2.2.1 Zentralperspektive Kamera

Die zentralperspektive Kamera ist generell eine Basiseinstellung für virtuelle Welten. Elemente, die näher bei der Kamera liegen, erscheinen auf Grund der linearen Perspektive größer. Der Strahlenkörper (View Frustum) bildet eine Pyramide bzw. einen Konus, dessen Spitze je nach Lage der nahen Clippng Ebene (Near Clipping Plane) abgeschnitten ist. Demnach ergeben sich als Kameraeinstellungen eine nahe Clipping Ebene (davor werden Objekte nicht mehr dargestellt/gerendert und einfach abgeschnitten), ferne Clipping Ebene (dahinter werden Objekte nicht mehr dargestellt und einfach abgeschnitten)

und der Betrachtungs-/Öffnungswinkel. Dieser vertikale Öffnungswinkel wird auch als Field of View (FoV) bezeichnet.

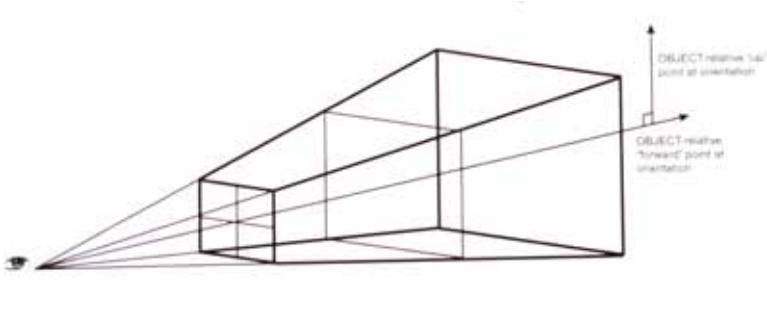


Abb. 4-3: Abbildungsprinzip der zentralperspektiven Kamera, Catanese 2002.

4.1.2.2.2 Orthografische Kamera

Die orthografische Kamera besitzt einige grundlegende Unterschiede zur perspektiven. Einer der gewichtigsten ist, dass die Entfernung zur Kamera keine Größenänderung des Objektes bewirkt, denn die Sehstrahlen laufen parallel. Der Strahlenkörper ist ein Parallelepiped, dessen sechs Seiten parallele Parallelogramme bilden. Auf Grund der Parallelität der Sehstrahlen gibt es auch keinen Öffnungswinkel (FoV). Stattdessen wird die orthografische Höhe definiert, um das Ausmaß/Ausdehnung der Darstellungsebene festzulegen. Orthografische Kameras werden benötigt, um geometrischrichtige Grund- oder Aufrissdarstellungen herzustellen.

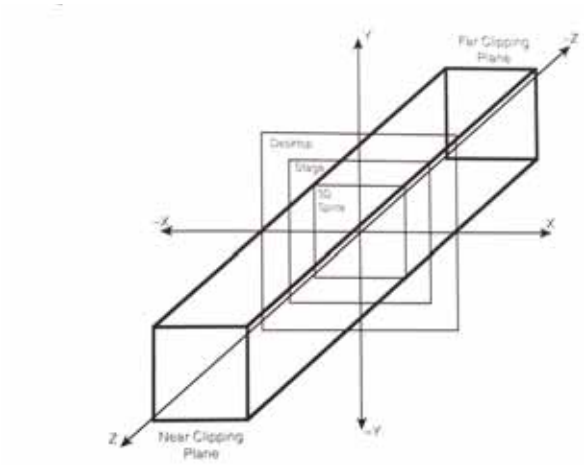


Abb. 4-4: Abbildungsprinzip der orthografischen Kamera, Catanese 2002.

4.1.2.3 Schattierung (Shading)/Texturierung

Als *Shading* bezeichnet man generell die Simulation der Oberflächeneigenschaften von Objekten. Die mikroskopischen Eigenschaften der Oberfläche, die etwa die „Rauheit“ bestimmen, lassen sich durch lokale Beleuchtungsmodelle beschreiben, die mehr oder weniger auf einer physikalischen Grundlage aufbauen. *Texture Mapping* erlaubt örtliche Veränderungen der Materialbeschaffenheit einer Oberfläche, die mittels einer Rastergrafik definiert werden. Damit lässt sich ein Objekt etwa mit einem Bild „überziehen“. Mit erweiterten Verfahren wie Bump Mapping und Displacement Mapping können auch Erhebungen und Vertiefungen der Oberfläche simuliert werden, ohne manuell in die Geometrie eingreifen zu müssen. Zusätzlich lässt sich die *Streuung des Lichts* innerhalb von transluzenten Körpern, die Volumenstreuung genannt wird, mittels neuartiger Verfahren effizient simulieren.

Vertex Shader dienen zur Manipulation der Szenengeometrie, indem Knoten der Oberfläche verschoben werden. Dadurch wird die Form von Objekten und damit auch ihre Lichtaufnahme beeinflusst. Allerdings verändern Vertex Shader nur bestehende Geometrien und können weder neue hinzufügen noch vorhandene entfernen.

Eine Sonderrolle nimmt der Geometrie Shader ein, da das Anlegen neuer Knoten eigentlich kein Bestandteil des klassischen Renderings (Transformation, Beleuchtung, Texturierung) ist. Neue primitive Geometrien werden aus bereits vorhandenen Primitiven (Punkte, Linien, Dreiecke) erzeugt und in die Renderingpipeline eingefügt. Als Shader in der klassischen Renderingpipeline wird der Geometrie Shader nach dem Vertex Shader aufgerufen.

4.1.2.3.1 Reflexionsarten

Aus der Summe des reflektierten Lichtes an einem Punkt ergibt sich dessen endgültiger Farb- und Helligkeitswert: Licht = ambienter Anteil + diffuser Anteil + spekularer Anteil

- ambiente Reflexion: Grundhelligkeit der Szene. Diese ist in allen Punkten der Oberfläche gleich groß.

  Ambienter Anteil = Intensität ambientes Licht * ambienter Reflexionskoeffizient

- diffuse Reflexion: Helligkeitsverlauf auf der Oberfläche, d.h. eine gleichmäßige Reflexion des auftreffenden Lichtes in alle Richtungen.

  Diffuser Anteil = Intensität Punktlichtquelle * diffuser Reflexionskoeffizient * COS (Einfallswinkel)

- spekulare Reflexion: Glanzreflexionen auf einer Oberfläche, d.h. je glatter die Oberfläche, desto kleiner und intensiver die Glanzlichter

  Spekularer Anteil = Intensität Spotlichtquelle * spekularer Reflexionskoeffizient * COS spekularer Exponent (Einfallswinkel)

Raytracing Algorithmen berücksichtigen weiters Lichtanteile aus Brechung und Transparenz, welche beim Shading keine Anwendung finden. OpenGL kann mit Alpha Blending arbeiten, welches zur Simulation von Transparenz benutzt wird.

4.1.2.3.2 Renderstile

Mit dem Shader werden auch die Renderstile der einzelnen Objekte und somit die Sichtbarkeit und deren Eigenschaft gesteuert. Die Grundstile umfassen gefüllt, Gitternetz und punkthaft. Im gefüllten Modus wird die Oberfläche des Objektes generell homogen gefüllt in einer definierten Farbe wiedergegeben. Dies ist weiters davon abhängig, ob das Objekt „flat“ oder beispielsweise mit „Gouraud Shading“ berechnet wird. Beim Gouraud Shading wird die Oberfläche interpoliert und somit geglättet dargestellt. Im „Flat“ Shading sind die einzelnen Dreiecke des Modells trotz Füllung erkennbar. Im Gitternetz-Modus werden die Dreiecksmaschen des Objektes dargestellt. Dabei ist die Feinheit der Objektstruktur (die Auflösung) sehr leicht erkennbar. Der punkthafte Modus stellt nur die Knoten des Maschenmodells dar. Somit werden nur die Eckpunkte der Dreiecke dargestellt.

4.1.2.3.3 Erweiterte, ausgewählte Renderstile für Nicht-Photorealistisches Rendering

Zusätzlich zu den Standardshaderstilen werden mit erweiterten Shadern besondere Darstellungsweisen unterstützt. Zu den hier angeführten und kurz erläuterten gehören der „newsprint“-, „engraver“-, „pain-

ter“- Shader und die multitexturellen Knotenverfahren der „inker“ und „toon“ Modifier [Foley 1994, Gooch 2001, Strohotte 2002].

Der „*newsprint*“ Shader resultiert in einer grob gerasterten Darstellung, ähnlich der gerasterten Fotografien in Zeitungen. Die Objekte werden dazu auf monochromatische Weise gerendert und demnach als Schwarz und Weiß visualisiert. Anstatt „Weiß“ kann eine beliebige Farbe eingesetzt werden. In diesem Modus sind die Helligkeit und die Dichte des Rasters hauptsächliche Einstellungsparameter.

Der „*engraver*“ Shader versucht die Ästhetik von graviertem Metall nachzuahmen. Das Resultat erscheint eher als eine am Bildschirm gedruckte Grafik. Der „engraver“ Shader ist dem „newsprint“ Shader sehr ähnlich und umfasst dieselben Einstellungsmöglichkeiten.

Der „*painter*“ Shader verfügt über eine größere Zahl von Einstellungsparametern und damit die Möglichkeit, die Darstellungsart zu ändern. Es ist dadurch möglich, eine breite Vielfalt an Stilisierungen durchzuführen. Eine Möglichkeit ist, ein Objekt auf Schwarz und Weiß zu reduzieren. Zu den wichtigsten Eigenschaftenvariablen gehören der Stil (Toon, Gradient, Schwarz/Weiß), Farbstufen (2,4,8,16), Schattenstärke und Highlightstärke.

Modifier bezeichnen besondere (erweiterte) Eigenschaften, die den Knoten des Modells zugeordnet werden und die Art, wie das Modell gezeichnet/gerendert wird, beeinflussen. Die angeführten Modifier sind spezielle Programmiertechniken, die speziell im Programm Adobe/Macromedia Director zur Anwendung kommen, aber auch in anderen Softwarelösungen Verbreitung finden.

Der „*inker*“ Modifier kann alle zuvor angeführten Shader kombinieren. Es werden damit die Möglichkeiten der Standard- und Nicht-Standard Shader gestärkt. Das Resultat des inker Modifier sind die Kanten und Silhouetten des Modells, deren Linienfarbe, Silhouetten, interne Geometrie, Grenze der Dreiecke und Linienoffsets eingestellt werden können.

Der „*toon*“ Modifier vereint den painter Shader und den inker Modifier. Demnach werden die Umrisslinien und Silhouetten mit der Abstraktion des painter Shader kombiniert. Das Resultat sind cartoonartige Darstellungen, die die Charakteristik des Modells hervorheben können.

Die beschriebenen Voraussetzungen in 3D werden benötigt, um ein sichtbares Bild berechnen zu können. Dabei legt die Textur eines Objektes dessen Oberfläche fest, das Shading die Reaktion der Oberfläche mit verschiedenen Variablen (Licht, Sehstrahlen, …), das Licht der Umgebung die Helligkeitsverteilung und die Kamera die Betrachtungsvariablen. Je nach Verwendung und Ausprägung der vorausgesetzten Parameter ergeben sich unterschiedliche Begrifflichkeiten, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden.

4.1.3 Begrifflichkeiten der virtuellen Umgebung

Im Zusammenhang mit unterschiedlichen Ausprägungen von 3D werden auch verschiedenste Begriffe für 3D Ansichten/Darstellungen bzw. 3D Umgebungen verwendet, die hier kurz erläutert und ergänzt werden sollen. Das Verständnis für 3D in der Kartografie kann mit der Begriffserklärung unterstützt und der gezielte Einsatz von 3D besser strukturiert werden, da je nach Ausformung entsprechende Einsätze bei der Vermittlung räumlicher Information möglich werden. Zum Beispiel können 3D Modelle als Ausformung der Symbolsprache in eine 2D topografische Karte eingebettet werden, um so eine höhere Referenz zu den realen Objekten, also eine bessere Anschaulichkeit, zu erzielen. Grundsätzlich werden 3D Modell, 3D Szene, 3D Welt, 3D Grafik, 3D Animation, Virtuelle Realität (VR) und 3D Karte voneinander unterschieden [Lorenz 2007].

Das *3D Modell* ist eine computerinterne Beschreibung von virtuellen Objekten. Die Beschreibung umfasst hierbei die Gesamtheit von geometrischen Primitiven, komplexen Oberflächen und deren Attribu-

ten, d.h. inklusive etwaiger Texturierung bzw. Shadingmechanismen. Für die Kartengestaltung liefern 3D Modelle punkthafte bzw. positionsbezogene Elemente, die auf der 2D Karte einen Pseudo 3D Eindruck hinterlassen können. Viele Beispiele von Karten mit Ortsbildern in 3D zeigen sich in historischen Karten des 17. bis 19.Jahrhunderts, worin das bildhafte Darstellungsprinzip besonders hervorgehoben wurde [Arnberger 1993].

Die *3D Szene* bezeichnet ein, mit Beleuchtungs- und Kamerabeschreibungen ergänztes, 3D Modell. Mit der Beleuchtungsbeschreibung wird das virtuelle Objekt mit der Lichteinstrahlung und dessen etwaiger Oberflächenreaktion ergänzt. Die Kamerabeschreibung führt über die „Linsenparameter" und somit durch die Abbildungsprojektion eine Deformation des Modells bzw. der Ansicht des Modells ein. Wird das 3D Modell als bildhaftes Darstellungsprinzip mit anderen Modellen kombiniert, kann daraus z.B. eine physiographische Karte (mit physiologischem Schwerpunkt der Erddarstellung) entstehen [Arnberger 1993, Abb29, S. 199].

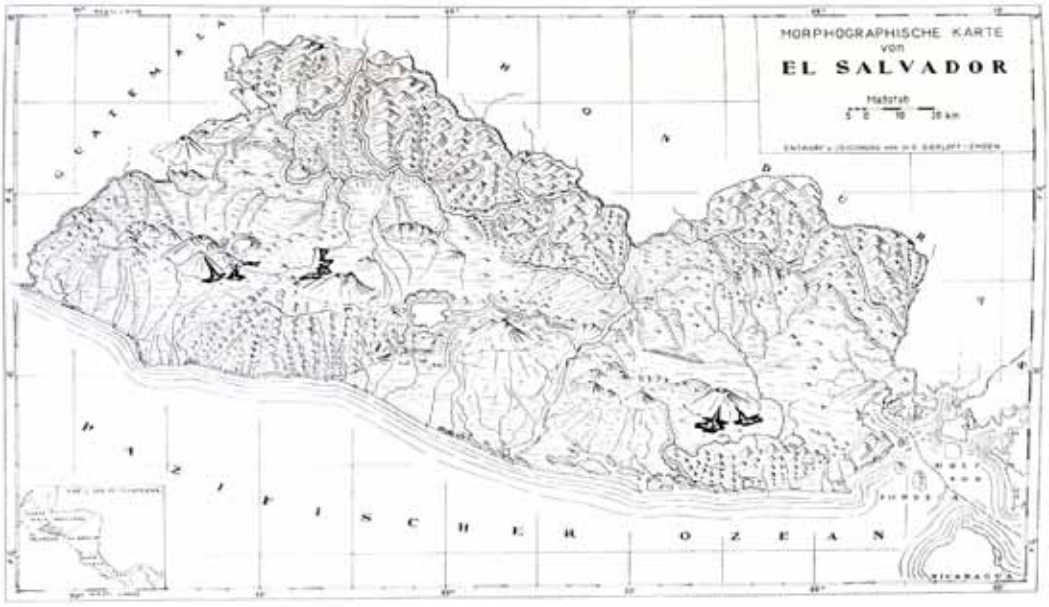


Abb. 4-5: Physiografische Karte nach bildhaften Prinzip, Arnberger 1993.

Die Erweiterung der 3D Szene mit Interaktion und Simulationsfunktionalität führt zu einer *3D Welt*. Darin können geplante Vorgänge im virtuellen Umfeld vollzogen und mit den 3D Welt Elementen entsprechend den Eingabe- und Ausgabeschnittstellen interagiert werden.

Die *3D Grafik* beschreibt berechnete rastergrafische Bilder aus einem 3D Modell oder einer 3D Szene, also aus der mathematischen, computerinternen Beschreibungsform. Die 3D Grafik für sich ist generell statisch und liefert keine Interaktionsmöglichkeit. Derartige statische 3D Darstellungen dienen unter dem Begriff „kartenverwandte Darstellungen" generell einer einfachen Veranschaulichung von räumlichen Sachverhalten mit festgelegten Beleuchtungs- und „Viewport"- Einstellungen.

Die *3D Animation* erweitert die einzelne 3D Grafik mit dem Sequenzcharakter, da hier eine rastergrafische Bildfolge für die kontinuierliche Veränderung von modell- und/oder szenenbeschreibender Parameter berechnet wird (Ansicht, Beleuchtung, Geometrie, Topologie, ...).

Die *Virtuelle Realität (VR)* bezeichnet die realitätsgetreue Nachbildung bzw. Simulation eines Weltausschnittes unter Einbeziehung des Nutzers. Man versteht also unter VR eine durch Computer erzeugte, dreidimensionale Realität, wobei es sich jedoch um eine nicht wirklich vorhandene Realität handelt. So-

zusagen eine computerbasierte Wirklichkeit neben der eigentlichen Wirklichkeit. Detaillierter ausgedrückt meint es eine in Echtzeit computergenerierte, interaktive und virtuelle Umgebung. In dieser Umgebung kann der Benutzer deren Bestandteile nicht nur sehen und wahrnehmen, sondern sie gegebenenfalls manipulieren. Je höher hierbei der Immersionsgrad der Übertragungsmedien ist, desto stärker empfindet der Benutzer das Gefühl, die dargestellte Szenerie als wahr zu empfinden und vergisst den Tatbestand, dass es sich hierbei lediglich um eine computergenerierte Wirklichkeit handelt.

Eine *3D Karte* ergänzt die VR für eine bessere Wahrnehmung raumbezogener Prozesse. Für diese Aufgabe, die ein zentrales Anliegen der Kartografie bildet, werden Mechanismen benötigt, die die VR abstrahieren und modifizieren können, sodass eine bestmögliche Vermittlung von Information durchgeführt wird. Der Vergleich zwischen Satellitenbild und Karte liegt hier nahe. Denn erst die unmissverständliche Kodierung und Hervorhebung des topografischen Inhaltes unterstützt die klare Informationsvermittlung, auch wenn dies den Verlust von scheinbaren Details und schwer wahrnehmbaren Inhalten zur Folge hat. Für die Computergrafik bedeutet dieser Anspruch die Unterstützung von VR mit nicht-photorealistischen Renderingmethoden [Döllner 2007, Nienhaus 2005], die zusätzlich, den kartografischen Erfordernissen entsprechend, angepasst werden sollten. Im Fachbereich der Kartografie ist das traditionelle Bild von 3D, das vorwiegend statische 3D Grafiken und physische Modelle als kartenverwandte Darstellungen bezeichnet, mit 3D Karten bzw. 3D Umgebungen zu ergänzen und die Semiologie auf diese Technologien zu erweitern [Casti 2000].

Das *3D Environment* oder die *3D Umgebung* gilt für den Autor als übergeordneter Begriff, der VR, nichtphotorealistisches Rendering und 3D Karte vereint, um eine generelle Bezeichnung von virtuellen, interaktiven und dynamischen Welten zu ermöglichen.

Neben den technischen Implementationen der 3D Umgebung, liefert ein benutzerorientierter Ansatz einen weiteren Unterscheidungsgrund: ist der Rezipient nur passiver Betrachter in der künstlichen Welt, wie beispielsweise bei der Betrachtung eines virtuellen Körpers auf einer großen Leinwand, oder bewegt, agiert und löst der Rezipient auch Prozesse in der virtuellen Umgebung aus? Die vollständige Einbindung des Rezipienten in die virtuelle Umgebung und damit das eindringliche Erleben ist die Zielvorstellung, um die Vorteile von 3D in der raumbezogenen Wissensvermittlung, wie z.B. eine vertraute Informationsumgebung, hoher Identifikationsgrad und bekannte Lernstrukturen, nutzen zu können. Aus geometrischer Sicht liefert 3D einige Probleme. Besonders, wenn von einem eindringlichen (immersiven) Umfeld ausgegangen wird, wie es von zentralperspektiven Abbildungen durch ihre Verstärkung der psychologischen Tiefenwahrnehmungsparameter unterstützt wird, gibt es viele Nachteile, die einen kartografischen Einsatz missbilligen.

4.1.4 Eigenschaften des 3D Environments/Projektion/Ansicht im Kontext mit der Geometrie

Das Wesen von 3D Umgebungen wird besonders durch den anschaulichen Überblick, die natürlichen und kulturellen Wesenszüge eines Landschaftsausschnittes geprägt. Diese Abbildungen auf schräge Bildebenen folgen zentralperspektiven oder parallelperspektiven Vorschriften, die dementsprechend eindringliche (immersive) Veranschaulichungen liefern. Sämtliche fotografischen Abbildungen, sowohl Luftbildschrägaufnahmen als auch Aufnahmen von isolierten bzw. hohen terrestrischen Punkten, sind generell zentralperspektive Wiedergaben mit dem Projektionszentrum in der Kamera. Die Anschaulichkeit dieser Fotografien steht einer schlechten Ausdeutung gegenüber, d.h. die Einschätzung der relativen Lage und Blickrichtung wird erst durch einen orthogonalen Grundriss mit eingetragenem Blickfeld möglich [Arnberger 1993, S.384]. Dieselbe Charakteristik ist auch in virtuellen Umgebungen, wie zum Beispiel bei Anwendungen in Computerspielen, beobachtbar [Darken 1999]. Zusätzlich zu dieser „Orientie-

rungslosigkeit“ werden falsche Schlussfolgerungen auf Grund der perspektiven Linearität provoziert. Je flacher der Winkel zwischen Blickachse und Horizontalebene wird, desto mehr erweitert sich das Blickfeld und liefert stärkere Verkürzungen mit zunehmender Entfernung. Demnach liegen für perspektive Ansichten besonders die geometrischen Nachteile der perspektiven Verzerrung, der großen Maßstabsanzahl und der massiven Verdeckung vor. Diese Überlegungen und Nachteile führen aus geometrischer Argumentation unweigerlich zu einem negativen Ergebnis, wenn nach einem Einsatz von 3D in der Kartografie gefragt wird. Auf Grund der perspektiven Verzerrung können Geometrien von Objekten mit unterschiedlicher Kameradistanz nicht direkt verglichen werden, Maße sind durch die Verwendung unendlich vieler Maßstäbe in einer Darstellung nicht vergleichbar, und wissensbildende Informationen können massiv verdeckt werden. Die geometrischen Grundlagen der perspektiven Ansicht liefern keine vordergründigen Argumente für die Verwendung von 3D. Dieser Umstand verlangt nach der Frage, ob 3D außer den psychologischen Eigenschaften generell einen Informationsmehrwert/-gewinn liefern kann.

4.1.4.1 Projektions (viewplane)- bzw. kamerabedingte Eigenschaften

Auf Basis einer anwendungsbezogenen Betrachtung könnten die Nachteile dieser Charakteristiken abgeschwächt oder sogar als Vorteil argumentiert werden. Die unendlich vielen Maßstäbe ermöglichen den Vergleich sehr detaillierter Objekte (kameranahe) mit vereinfachten „kamerafernen“ Objekten. An die Vereinfachung/Generalisierung wird der Anspruch gestellt, dass die interne Charakteristik des Objektes weitgehend bestehen bleibt. Der Informationsgewinn dieser Kombinationsmöglichkeit ist die Darstellung von richtungsbasierten Zusammenhängen. Die visuelle Beurteilung einer Ausrichtung eines kleinen Objektes im größeren Zusammenhang erfordert entweder einen kleineren Maßstab der Darstellung (somit auch eine Verkleinerung und Vereinfachung des zu untersuchenden großmaßstäbigen Objektes) oder eine größere Darstellungsfläche, die auf Grund ihrer Größe Zusammenhänge nicht mehr erkennen lässt. Die 3D Lösung bzw. der Viewport, positioniert die Kamera mit ihrer Visurlinie in die Ausrichtungsachse und eröffnet auf diese visuelle Weise den richtungsbasierten Zusammenhang der gefragten Objekte, des nahen und fernen Elementes unterschiedlichen Maßstabs [Ankerst 1999].

Die perspektive Verzerrung stellt für sich einen psychologischen Tiefenwahrnehmungsparameter (perspektive Linearität) dar und dient so in erster Linie der psychologischen Unterstützung bei der Tiefenwahrnehmung. Sie ist also für eine intuitive/eindringliche Raumwahrnehmung hilfreich, jedoch im geometrisch perzeptiven Sinn wegen der Geometrieverzerrung (abhängig von der relativen Position zur Kamera) von Nachteil. Unterschiedliche Lösungsvarianten können helfen, die Verzerrungen der Perspektive im Kontext der gesamten 3D Umgebung zu umgehen bzw. ihren Effekt zu nutzen. Beispielsweise könnte eine Kombination von Perspektive und Parallelprojektion unter dem Aspekt eines Informationsgewinns einen guten Kompromiss erzielen: nachdem Objekte auf Grund der perspektiven Verzerrung nicht uneingeschränkt vergleichbar bleiben (bspw. werden Kreise zu Ellipsen und umgekehrt), könnten positions-/punkthafte Elemente als Parallelprojektion eingebettet werden, um die Vergleichbarkeit aufrecht zu erhalten. Dem Autor ist bewusst, dass die Einbettung von orthografischen Symbolen in perspektive Ansichten Wahrnehmungskonflikte auslösen kann und eigentlich dem Grundsatz der Gestaltkonstanz widerspricht [Marr 1982, Kraak 1988, Rock 1998]. Berücksichtigt man aber die Ausdehnungseinschränkung von einfachen Displays, kann nicht davon ausgegangen werden, dass mehrere idente Objekte in einer Ansicht für eine kognitive Verarbeitung der Gestaltkonstanz herangezogen werden können. Das Ausmaß der Wahrnehmungskonflikte von Perspektiv- und Parallelansicht müsste nach einer technischen Implementierung Gegenstand von Untersuchungen sein und geht über den Fokus dieser Arbeit, die semiotische Strukturierung für die kartografische Kommunikation mit 3D, hinaus.

Andere Varianten, die perspektive Verzerrung positiv zu nutzen, verwenden die Eigenschaften der Parallelprojektion oder gezielter perspektiver Ansichten und imitieren/verstärken durch geometrische Kon-

stellation den perspektiven Charakter. Ein Beispiel von gezielten perspektiven Ansichten mit Verstärkung des perspektiven Charakters ist die progressive Perspektive, die vor einigen Jahrzehnten in der Gestaltung kartografischer Panoramas etabliert wurde [Berann 1986, Hölzel 1963, Imhof 1963]. Die progressive Perspektive ist eine konstruktive Art der Zentralperspektive, die die Abbildungsebene nach vorne wölbt [Häberling 2003, S. 82]. Dadurch kommt der verkürzende Charakter der Perspektive mit wachsender Kameraentfernung noch stärker zum Ausdruck. Die progressive Perspektive erlaubt, Grund- und Aufriss in einer Ansicht besser zu vereinen und deren Besonderheiten gezielter einzusetzen (siehe Abschnitt 4.2.1). Ein gezielter Einsatz der perspektiven Deformation findet sich bei Buchroithner (1989) als thematisch-topografische Informationsoptimierung mittels pseudodreidimensionaler perspektiver Darstellungen. Hierbei wird eine degressive Perspektive verwendet, um mit einer lokalen adaptiven Überhöhung hinterständige Landschaftselemente, die generell der Verdeckung unterliegen, sichtbar zu machen und so topografische Anhaltepunkte zu liefern [Buchroithner 1989].

4.1.4.2 Elementbezogene Eigenschaften

Die elementbezogenen Eigenschaften betreffen sämtliche visuellen Attribute von Objekten, die mit ihren Bezügen die räumliche Information schon monokular erfassbar und die Objektcharakteristik/-eindeutigkeit wahrnehmbarer machen. Darunter fallen sämtliche Auswirkungen, die durch die notwendigen Größen in 3D (Kamera, Licht, Textur) hervorgerufen werden und damit die psychologische Tiefenwahrnehmung unterstützen (Haze, Gradienten, Perspektive, …) [Albertz 1997].

Der Einsatz von Licht führt zur Schattierung der Objektoberfläche und im Weiteren dessen Schattenwurfes. Durch die Schattierung des Objektes wird die Wahrnehmung der Objektform mittels des Helligkeitsgradienten und Oberflächengradienten unterstützt [Albertz 1997, Goldstein 2002]. Der Schattenwurf des Objektes in der 3D Umgebung liefert weitere Bezüge die Objektform zuzuordnen, wie es bspw. eine zusätzliche Abstraktion des „Aufrisses“ (oder einer anderen Ansicht des Objektes, je nach Position der Lichtquelle) zur Silhouette ermöglicht, und Größen bzw. Entfernungsabschätzungen über den Schatten auf anderen Objektoberflächen zu konkretisieren [Goldstein 2002].

Elementbezogene Eigenschaften in 3D beziehen sich auch auf die Objekttexturierung (Material, Transparenz, Rauigkeit, Oberflächenmuster) und den damit in Zusammenhang stehenden Gestaltungsmöglichkeiten. So führen unterschiedliche Shading Mechanismen nicht nur zur Einfärbung und Musterung von Objekten, sondern beeinflussen die visuellen Oberflächeneigenschaften, indem Reflexion, Glanzlichter, Transparenz oder gar Rauigkeiten simuliert werden. Im Fall der Rauigkeit eines Objektes wird die Textur und das Shading mit „lokalen“ Helligkeitsgradienten kombiniert, um den gewünschten Eindruck zu vermitteln [Abrash 1997, Goldstein 2002].

Die elementbezogenen Eigenschaften nutzen die Grundelemente von 3D Umgebungen (Licht, Textur), um visuelle Gestaltungsvariablen extensiv für eine naive Informationsaufnahme zu nutzen und diese gegebenenfalls zu erweitern. So bildet Transparenz eine mächtige Variable für visuelle Gestaltungen, die in statischen Printmedien nicht zur Verfügung stand.

Der Einsatz kartografischer Elemente in 3D Umgebungen folgt einigen Grundsätzen, die aus dem menschlichen Wahrnehmungsverhalten im Realraum abgeleitet werden [Albertz 1997]. In diesem Fall führt Konfliktvermeidung auch auf der Darstellungsebene (umgebungs- und elementbezogen) zu höherer Übereinstimmung zwischen Realraum und virtueller 3D Umgebung und hilft damit bei der inhaltlichen Identitätsbildung.

4.1.4.3 Grundsätze für Wahrnehmung in 3D Umgebungen

Zu den Eigenschaften von 3D Umgebungen gehören auch Grundsätze, die die Besonderheiten des menschlichen visuellen Wahrnehmungsapparates aufgreifen und für die Darstellung von Objekten in 3D Karten zu berücksichtigen versuchen [Marr 1982, Kraak 1988, Rock 1998]. Die wichtigsten Grundsätze betreffen die Gestaltkonstanz, die Größenkonstanz und die Bewegungsparallaxe.

Der Grundsatz der Gestaltkonstanz besagt, dass gleichartige Objekte trotz unvollständiger oder inkonstanter Form wegen Verdeckungen oder Verzerrungen als gleich identifiziert werden. Voraussetzung für die Erfüllung dieses Grundsatzes ist die Bekanntheit eines verdeckten Objektes bzw. die mehrfache Abbildung desselben Objektes in einer Darstellung. Wenn also ein Objekt unbekannt und großteils verdeckt ist, dann werden meist ähnliche Muster und Bezeichnungen für die Objektergänzung herangezogen [Duda 2001].

Der Grundsatz der Größenkonstanz zielt auf die Eigenschaft der linearen Perspektive, wonach gleichartige Objekte trotz unterschiedlicher Abbildungsgröße wegen ihrer unterschiedlichen Distanz zur Kamera als gleich groß beurteilt werden. Wiederum setzt dieser Grundsatz die Existenz von Objekten voraus, die für eine Zuordnung der Größe verwendet werden können. Fehlen solche Referenzobjekte, wird meist eine falsche Größe zugeordnet. Als Beispiel erscheint der Mond am Horizont größer als höher am Himmel, da Bezugspunkte für die Größe fehlen [Goldstein 2002, S. 269].

Der Grundsatz der Bewegungsparallaxe bezieht sich auf die Winkeländerung der Betrachtungsrichtung, wenn ein statischer Beobachter ein bewegtes Objekt (oder umgekehrt) sieht. Diese Winkeländerung gibt Auskunft über eine sich verändernde Raumposition eines Objektes bzw. Beobachters. So ändert sich der Winkel bei nahen Objekten stärker als bei weiter entfernten. Das nahe Objekt scheint sich schneller zu bewegen. Auch hier werden lokale Bezugspunkte, wie Gelände oder andere Referenzen, benötigt, um die Geschwindigkeit bzw. Objektentfernung einordnen zu können [Goldstein 2002].

Die Eigenschaften von 3D Präsentationen hängen zu einem großen Teil vom Konzept der Renderingpipeline ab, welches die Ausprägung notwendiger computergrafischer Elemente (Licht, Kamera, Textur) erlaubt. Wenn in diesem Konzept keine „nicht-photorealistischen Stile“ vorgesehen sind, dann können diese auch nicht für eine kartografisch-orientierte 3D Umgebung verwendet, in der semiotischen Struktur berücksichtigt und für ein Übertragungsmedium angepasst werden. Die Adaptierung der virtuellen 3D Umgebung folgt dem kartografischen Leitbild, die Informationsvermittlung zu unterstützen, und soll somit möglichst „sinnvolle“ Bildpunkte für die Informationsübertragung verwenden. Nicht-photorealistische Verfahren bieten sich diesbezüglich für konkrete Umsetzungen an. Die Anpassung der visuellen Variablen erfolgt dann grundsätzlich in der Renderingpipeline, worin mittlerweile eine Vielzahl von (abstrakten) Gestaltungsparametern existiert und auf sämtliche dieser eingegangen werden kann.

Die Komplexität der Zusammenhänge aus Perzeption, Kognition und der Einfluss psychologischer Tiefenwahrnehmung in der 3D Präsentation im Zusammenhang mit einem möglichen „Informationsgewinn“ lässt eine Strukturierung nach unterschiedlichen Parametern/Elementen sinnvoll erscheinen. Eine Strukturierung soll die Möglichkeit bieten, die Eigenschaften von spezifischen Darstellungen zu erkennen und diese Spezialfälle zu beschreiben. Die ersten Versuche der Strukturierung für die 3D Semiotik beziehen sich auf Variation der Kameraeinstellungen, den Typus des Kartenelements oder den Einfluss der Tiefenwahrnehmungsparameter.

4.2 Allgemeine semiotische Strukturierung

Der Vorschlag für eine allgemeine semiotische Strukturierung folgt den Prämissen des kartografischen Paradigmas (benutzerorientierte Geo-Kommunikation) [Brodersen 2001] mit dem Ziel eines generellen Informationsgewinns gegenüber analoger kartografischer Produkte. Der individuelle Informationsgewinn hilft der „räumlichen Ermächtigung“, der individuellen Bildung räumlichen Wissens. Soll also die Bildung individuellen Wissens gefördert werden, dann verwendet die Präsentationsform eine visuelle Sprache, die schnell in die bestehenden Wissensstrukturen aufgenommen wird. Man könnte die 3D Umgebung mit gezieltem Einsatz der visuellen Gestaltungsvariablen und Renderingmechanismen als visuell basierte „Sprache“ (Code) bezeichnen, wenn bestimmte Darstellungseigenschaften des Übertragungsmediums berücksichtigt werden und bei Tests mit einer großen Grundgesamtheit von Rezipienten zu objektiven, validen und wiederholbaren Ergebnissen führen würden. Denn eine aktive Sprache ist Werkzeug der Kommunikation und setzt damit den Anspruch auf Verständnis innerhalb der kommunizierenden Gruppe [Casti 2000]. Bevor allerdings der linguistische Anspruch von modifizierten 3D Präsentationen überprüft werden kann, ist die syntaktische Dimension der grafischen Umsetzung in virtuellen 3D Umgebungen zu hinterfragen und letztlich zu perfektionieren. Genügt die Variation der vorhandenen grafischen Variablen in Bezug auf „Attraktivität“ und „Ästhetik“, oder sind auch Aspekte des Informationsgewinns und des Übertragungsmediums (Geo-Mediums) intensiv in die Konzeptionierung (der semiotischen Strukturierung) einzubinden? Wie sehr stören die rein syntaktischen Überlegungen die psychologischen Faktoren der Informationsaufnahme, die grundsätzlich nur in extensiven Testverfahren überprüft werden können? Der Autor ist davon überzeugt, dass die Bearbeitung dieser Fragen grundlegend ist und etwaigen Nutzbarkeitstest vorausgehen muss, da Variationen sowohl gemäß dem Informationsgewinn als auch mit der Anpassung ans Übertragungsmedium die Ergebnisse solcher Tests massiv beeinflussen. Die Bildwirkung der Darstellung ändert sich mit gestaltungswirksamen Variationen. Im Folgenden werden die angeführten praktischen Umsetzungen den Einfluss erkennbar machen.

Die allgemeine semiotische Strukturierung wird folgend in „Viewplane“ Modifikationen (die Betrachtungsvariablen [Häberling 2000]), die Steuerung der grafischen Elemente (Gestaltungsvariablen [Häberling 2000]) und den Einfluss der psychologischen Wahrnehmungsparameter kategorisiert. Die Gestaltungsvariablen sind weiters in globale und objektbezogene Aspekte eingeteilt.

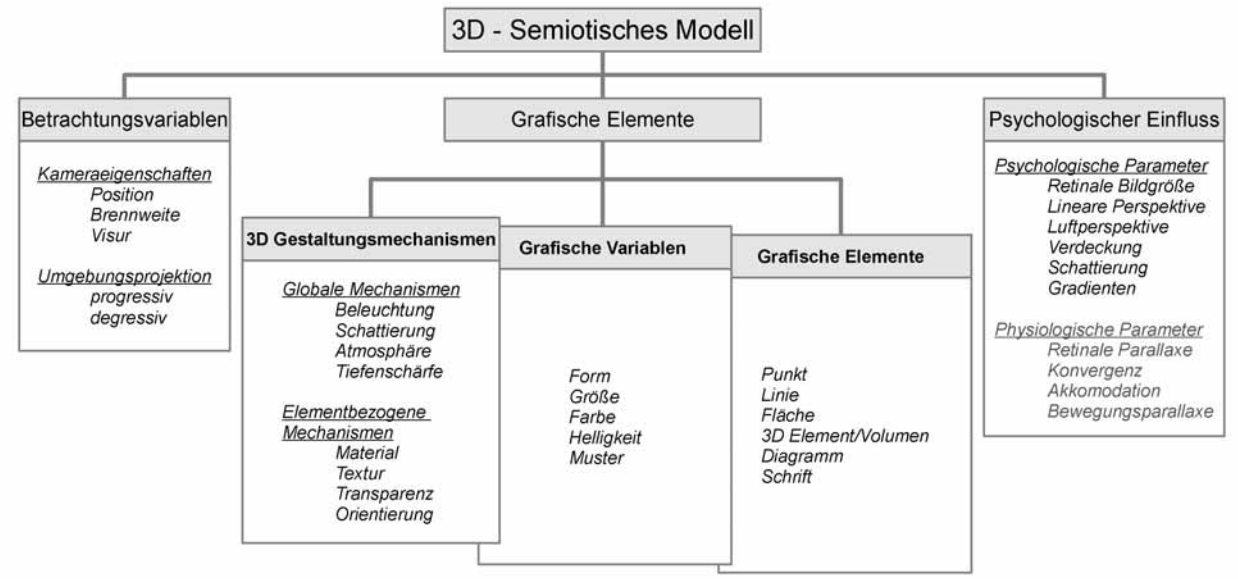


Abb. 4-6: 3D semiotisches Modell nach Jobst.

Dies erscheint in Anbetracht eines Informationsgewinns, aber auch für die Anpassung an das Übertragungsmedium, notwendig. Die Argumentation für einen Informationsgewinn in 3D Präsentationen wird auf diese Kategorien fokussiert, da damit die Stärke von 3D, Grund- und Aufriss und Maßstabsreihen in einer Ansicht zu vereinen, hervorgehoben werden kann. Allerdings werden dadurch auch die psychologischen Wahrnehmungsparameter beeinflusst und sollen aus diesem Grund diskutiert werden. Die „Viewplane“ Modifikationen, oder Anpassungen der 3D Umgebungsprojektion, versuchen die Kombination von Grund- und Aufriss hinsichtlich eines Informationsgewinns zu variieren bzw. zumindest die geometrischen Nachteile der perspektiven Ansicht zu nutzen oder abzuschwächen, indem perspektive Zonen ähnlicher Geometrie definiert werden. Das Ziel liegt in der Minimierung von „toten“ Pixeln. D.h., die mit zunehmender Kameraentfernung entstehende undifferenzierbare Pixelmenge soll minimiert werden. Diese Minimierung wird durch Steuerung der grafischen Elemente unterstützt. Ein gängiger Begriff ist hierbei „Level of Detail“ (LoD), also Techniken, die die Geometrie der Darstellungselemente vereinfachen, aber bislang noch keinen direkten Bezug zum Übertragungsmedium und dessen Auflösungscharakteristik aufweisen. Demnach soll der semiotische Richtwert (Abschnitt 3.1) mit den grafischen Elementen und LoD kombiniert werden. Anpassungen der 3D Darstellung führen zu Konflikten mit dem menschlichen Wahrnehmungsverständnis des Raumes und können so bei Pseudo 3D Präsentationen massive Nachteile für die intuitive Informationsvermittlung mit sich bringen. Aus diesem Grund werden diese Konfliktaspekte abschließend diskutiert und mit einer durchgeführten Untersuchung bezüglich der Verankerung von Beschriftungen untermauert.

4.2.1 Anpassung der Betrachtungsvariablen – die Umgebungsprojektion

Die Abbildungsprojektion der virtuellen 3D Umgebung auf Übertragungsmedien ist eine der mächtigsten Einflussgrößen bei der Gestaltung von 3D Darstellungen, da diese die „Projektionsebene“ mit den Aspekten der Raumbetrachtung und globalen Raumgestaltung bestimmen [Häberling 2000]. Sie wird mit den Parametern des „viewports“, also den Kameraeinstellungen der 3D Umgebung, gesteuert und legt so die Geometrie der Raumbetrachtung fest. Häberling (2003) führt zusätzlich die „Festlegung des Raumausschnittes“ an, wodurch nur eine, von vier Ebenen begrenzte 3D Umgebung dargestellt wird. Dieser virtuelle Landschaftskörper entspricht einem virtuellen 3D Blockmodell, welches an den Schnittebenen auch

einen Einblick in den Untergrund gestattet. Für diese Arbeit soll die 3D Umgebung nicht begrenzt werden, obwohl dem Autor bestehende technische Probleme einer grenzenlosen virtuellen Abbildung bekannt sind. Mittlerweile zeigen jedoch leistungsfähige Applikationen, wie serviceorientierte Geo-Architekturen (Map Services, u.Ä.) in Kombination mit LoD Techniken, dass grenzenlose virtuelle Welten öffentlich wirksam zugänglich gemacht werden können. Diese Darstellungsform wird benötigt, um tatsächlich einen generellen kartografischen Eingriff in die virtuelle Realität ansprechen und modellieren zu können.

Der kartografische Eingriff in die virtuelle Realität begründet sich in einem benötigten Informationsgewinn, welcher erst durch Aggregation, Selektion, Hervorheben bestimmter, für die Aussage notwendiger Informationen etabliert werden kann. Unterlässt man diese Generalisierungsmaßnahmen in der Darstellung, dann können zwar Informationen angehäuft, analysiert und mit Darstellungsvariablen (Farbe, Helligkeit, …) versehen werden, aber die einzelnen Elemente oder Elementgruppen können nicht voneinander unterschieden werden. Die perzeptive Aufnahme der wichtigen Information ist für einen großen Teil der Darstellung nicht möglich. Somit wird die Notwendigkeit eines kartografischen Eingriffs in 3D Umgebungen deutlich, wenn ein erster Informationsgewinn mit der grafischen Darstellung erreicht werden soll.

Ein Informationsgewinn findet in einer Darstellung auch dann statt, wenn zusätzliche Information extrahiert werden kann. Derartige Zusatzinformationen (Texte, Tabellen, Bilder, …) werden auf vielfältige Weise angebracht und meist mittels Interaktion (Mouse Over, Mouse Click, …) aufgerufen. Ihr Gestaltungsumfang reicht bis zur präzisen Entnahme von Koordinaten bzw. Höhen mit dem Mauszeiger oder Ähnlichem. In 3D Umgebungen bieten Texturen, Annotationen, Beschriftungen usw. erweiterte Möglichkeiten die Zusatzinformationen als Informationsmittel einzubetten. Im Besonderen gewinnt man die Höheninformation, wenn ein digitales Geländemodell hinterlegt/eingebettet wird, entweder durch explizite Interaktion (Aufruf mit dem Mauszeiger o.Ä.) oder dadurch, dass sie in die Geländedarstellung integriert wird und so grafischer Bestandteil des Gesamtbildes ist. Erstere Möglichkeit liefert präzise und punktgenaue Höhenangaben, während Zweitere den 3D Eindruck unterstützt und damit Höhenrelationen zwischen Punkten auf der Oberfläche betont.

Bevor Zusatzinformationen in die 3D Umgebung eingebettet werden, ist ein etwaiger Informationsgewinn wegen der Darstellungseigenschaften der 3D Umgebung zu berücksichtigen, um mögliche Informationswiederholungen (durch die generelle Kodierung der Darstellung und dem interaktiven Aufruf) bewusst zu unterstützen. In diesem Aspekt liegt der Vorteil von 3D Umgebungen, die durch ihre Kombination von Grund- und Aufriss einen grundsätzlichen Informationsgewinn in der Darstellung propagieren. Die inhaltliche Deutlichkeit der kombinierten Information ist aus rein technisch-geometrischer Sicht von den Betrachtungs-, Gestaltungsvariablen und der Tiefenwirkung abhängig. Die Kameraeigenschaften mit der Kameravisur und der Brennweite (Field of View, FoV) sind Teile der Betrachtungsvariablen [Häberling 2000].

4.2.1.1 Inhaltliche Abhängigkeit von den Betrachtungsvariablen

Virtuelle 3D Umgebungen liefern grundsätzlich einen Informationsgewinn, wenn die Kombination von Grund- und Aufriss berücksichtigt wird. Eingeschränkt wird dieser Informationsgewinn durch die eigentliche Wahrnehmbarkeit des Grund- bzw. Aufrisses. Wird durch entsprechende Betrachtungsvariablen, vor allem Kameravisur, entweder der Grund- oder Aufriss „verdeckt“, dann kann diese Information nicht mehr erkannt werden. Daraus folgt gemäß der Betrachtungssituation eine generalisierende Handlungsnotwendigkeit bezüglich der Ansicht.

Die virtuelle 3D Umgebung mit freier Kamerabewegung vereint sämtliche „perspektive“ Darstellungsmöglichkeiten. Die Ansichten werden sich generell in Schrägsicht/Vogelperspektive, aber auch nahezu im Grundriss oder Aufriss befinden. Diese vorliegende Ansicht ist dann bestimmend für die angewandte Semiotik und die Vermittlung des Informationsgehalts. So treten bei einer grundrissbestimmten Ansicht ähnliche maßstabsbezogene Probleme auf wie in der traditionellen 2D Kartografie. Die Perspektive wird zusätzlich über die Höhendifferenz der 3D Umgebung sichtbar und führt zu „stürzenden“ Elementen (Zentralperspektive). Die grundrissdominierte Ansicht (Top-Down View) beinhaltet vorwiegend Grundrissinformation. Umrisse und Objektformen werden hauptsächlich durch einen Schattenwurf erkennbar gemacht und lassen die Aufrissform erahnen. Die „komprimierten“ Aufrisse können folglich zu Visualisierungskonflikten führen und erfordern eine informationsgerechte Lösung. Die Verdeckungsproblematik spielt in der grundrissdominierten Ansicht eine eher untergeordnete Rolle, da keine grundsätzliche Überlagerung von topografischen Objekten vorliegt. Überlagerte thematische Informationen unterliegen traditionellen kartografischen Verarbeitungsschritten. Die Varianz der beinhalteten Maßstäbe ist minimal und hängt von der topografischen Höhendifferenz und Überhöhung des Karteninhalts ab. Der hauptsächliche Informationsinhalt ist die wahrnehmbare Grundrissinformation mit intuitiver Höhenvermittlung mittels Oberflächengradienten. Beispiele dafür sind topografische Karten mit Lentikularlinsen [Buchroithner 2002]. Grundsätzlich liefert die grundrissdominierte Ansicht einen Überblick über die horizontalen Beziehungen der Kartenelemente. Diese Abstraktion der Realität, besonders der Überblick der horizontalen topografischen Beziehungen, kann direkt in das mentale Modell des Betrachters aufgenommen werden. Diese Beziehungen müssen dann nicht aus einer aufrissdominierten Ansicht kognitiv rekonstruiert werden. Allerdings schränkt die limitierte Ausdehnung des Übertragungsmediums und dessen Auflösung diese Überblicksfunktion bei digitalen Karten generell und bei virtuellen 3D Umgebungen im Speziellen ein (vgl. Kapitel 3).

Die aufrissdominierte Ansicht ist besonders stark von der Verdeckung und dem großen Maßstabsumfang geprägt. Da der große Maßstab eines Objektes im Vordergrund einen Großteil der Präsentationsfläche beansprucht, werden dahinter liegende Elemente verdeckt bzw. steht für die Objekte der kleineren Maßstäbe (in größerer Entfernung) weniger Präsentationsfläche zur Verfügung. In diesem Extremfall ist eine klare Definition der zu vermittelnden Information grundlegend, wobei das Ziel der Präsentationsaussage berücksichtigt werden muss. Ähnlich zur grundrissdominierten Ansicht werden bei der Vermittlung des Aufrisses besonders bei der dargestellten Grundrissinformation Visualisierungskonflikte auftreten und eine informationsgerechte Lösung erfordern. Die unendliche Anzahl von Maßstäben verhindert zunächst eine maßstabsabhängige Vereinfachung/Generalisierung der Elemente. Die Strukturierung nach Entfernungsklassen bietet in diesem Extremfall eine Lösungsmöglichkeit, wobei die Klassenbildung mit ihrer Abstufung auf die Tiefenwahrnehmung kaum negativen Einfluss nehmen und dennoch stark vereinfachende Auswirkungen auf die grafischen Elemente zulassen soll. Beide Erfordernisse, der Einfluss auf die Tiefenwahrnehmung und die vereinfachende Auswirkung auf die grafischen Elemente, stehen sich gegenüber. Der vorrangige Informationsgehalt der aufrissdominierten Ansicht ist der Aufriss mit präzisen Details im nahen Bereich, der visuelle Bezug der Elemente zur Zielachsenrichtung und der direkte, intuitiv erfassbare Zusammenhang topografischer Höheninformation im fernen Bereich. Beispiele für diesen Extremfall sind 3D Applikationen mit Spielemetaphern, so genannte „Ego-Shooter“, in welchen die Kamera die Augenhöhe eines virtuellen Betrachters einnimmt. Demnach unterstützt die aufrissbasierte Ansicht eine intuitive Vermittlung raumbezogener Information durch eine hohe Identitätsbildung mit der realen Betrachtungssituation. Die Betrachtung der virtuellen Umgebung im Vergleich zur Realität liefert viele Referenzen, die eine eindeutige Zuordnung zulassen. Diese Eigenschaft setzt jedoch einen hohen Detailgrad in der Modellierung voraus, um Referenzpunkte hervorzuheben. Für kameraentfernte Elemente bleibt ihre Auffälligkeit des Aufrisses, dessen Charakteristik hervorgehoben werden sollte. Aus

dieser Situation ergibt sich die Nutzung von kameraentfernten Elementen als visuelle Referenzpunkte oder so genannte Landmarks, die die Orientierung im virtuellen Raum erleichtern.

Die Kameravisur wird generell nicht von den zwei Extremfällen getrennt geprägt, sondern von einer Mischsituation, die als Schrägansichten bzw. Vogelschauperspektiven bezeichnet werden. Somit bildet sich aus geometrischer Sicht eine Kombination aus Grund- und Aufriss, die sämtliche Visualisierungskonflikte beider Fälle in abgeschwächter Form verwendet. Je nach Kameravisur wird eine eher aufriss- oder grundriss dominierte Ansicht vorliegen. Der wichtigste Vorteil dieser Situation besteht in der direkten Vergleichbarkeit und somit die direkten Erfassbarkeit von Grund- und Aufriss.

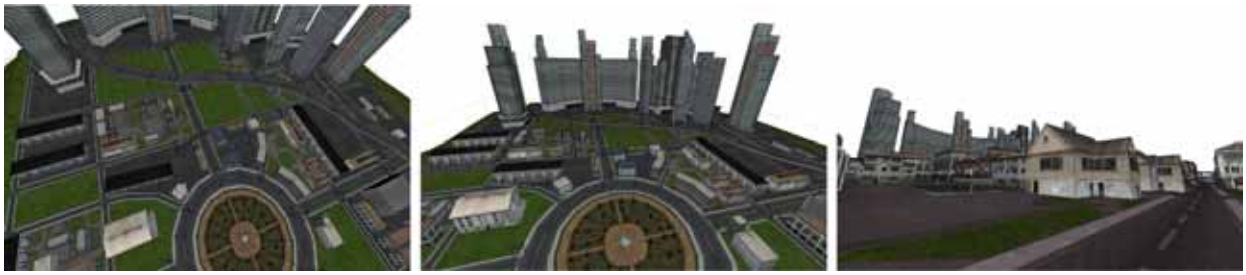


Abb. 4-7: Grundriss, Mischsituation, Aufriss.

Zusätzlich zur Kameravisur beeinflusst die Brennweite der simulierten Linse den Informationsumfang. Die Brennweite, in der Computergrafik auch FoV (Field of View) genannt [Bender 2006], existiert für zentralperspektive Abbildungen. Bei parallelperspektiven Abbildungen wird die orthografische Höhe verwendet, um das virtuelle Sichtfeld zu erweitern. Bei der zentralperspektiven Abbildung entspricht die Änderung der Brennweite nicht nur einem Maßstabswechsel, wie dies bei der parallelperspektiven Ansicht der Fall ist, sondern wirkt auch auf die perspektiven Verzerrungen. Eine große Brennweite (also geringer FoV) nähert sich immer mehr einer parallelperspektiven Abbildung an, indem der Blickwinkel immer flacher wird (die Sehstrahlen nähern sich ihrer Parallelität). Ein großer Blickwinkel (FoV) führt zu einer Panoramasicht, die die Fluchtpunkte der Zentralperspektive besonders betont. Geometrien werden bereichsweise stark verzerrt. Der Maßstabsumfang (Anzahl der eingebetteten Maßstäbe) wird erhöht. Damit sind auch mehr kameraentfernte Elemente (Landmarks), die der Orientierung dienlich sein können, im visuellen Umfeld.

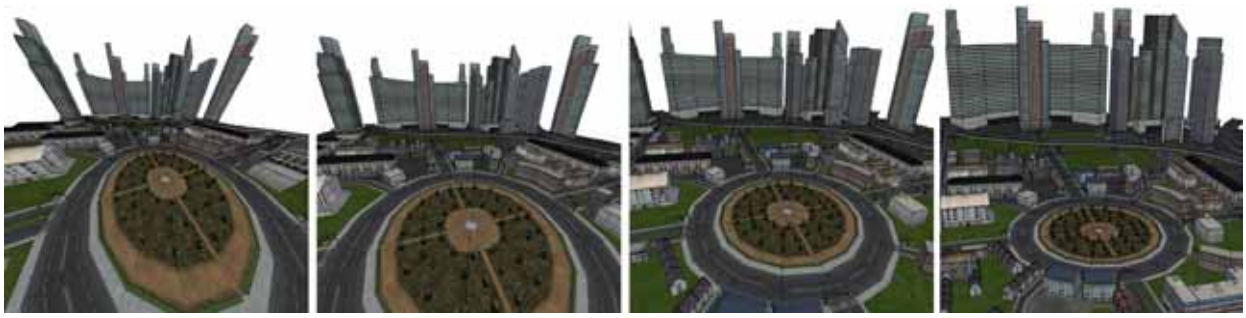


Abb. 4-8: Änderung des Blickwinkels.

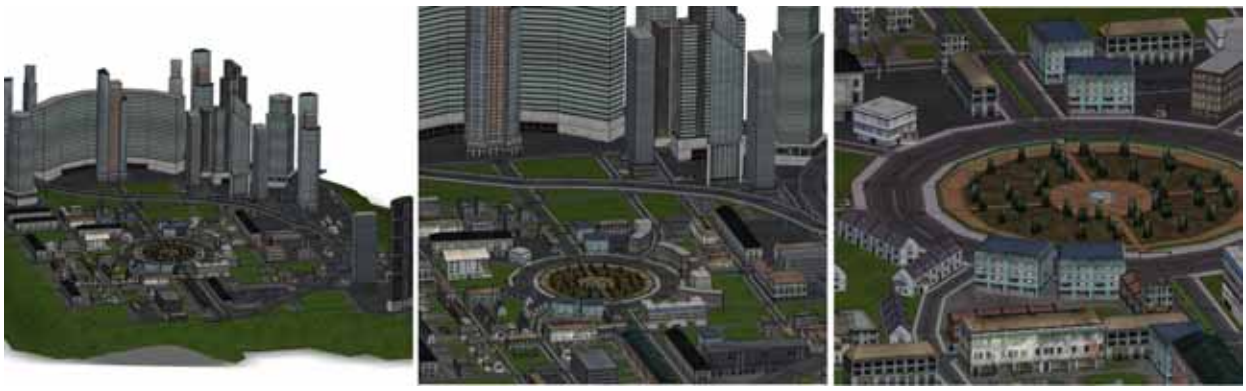


Abb. 4-9: Änderung der orthografischen Höhe.

Bezüglich der inhaltlichen Abhängigkeit kann zusammengefasst werden, dass sowohl die Blickrichtung als auch der Blickwinkel den Informationsinhalt beeinflussen. Die Blickrichtung/Kameravisur betont entweder aufriss- oder grundrissdominierte Ansichten, die per se eigene Aufgabenschwerpunkte verfolgen (Überblick vs. örtliche Referenz) und so eine besondere „Generalisierung" des Grund- bzw. Aufrisses fordern. Die Variation des Blickwinkels führt zur Veränderung des sichtbaren virtuellen Umfeldes. Vergrößert sich der Blickwinkel, werden mehr aufrissbezogene Referenzpunkte als Richtungsweiser verfügbar sein. Allerdings wird mit wachsender Kameradistanz der Maßstab immer kleiner. Die Merkmale wichtiger Kartenelemente sind entsprechend der Auflösung des Übertragungsmediums anzupassen, sodass die Identität erkennbar bleibt. Bevor verschiedene Projektionsvariationen zur möglichen Verbesserung der dynamischen 3D Abbildung angeführt werden, soll in dem nächsten Punkt die Bedeutung von Referenzpunkten/Landmarks im virtuellen Umfeld kurz betont werden.

4.2.1.2 Bedeutung von Landmarken im virtuellen Umfeld

Landmarken bilden im geografischen Umfeld Anhaltspunkte für die Orientierung. Grundsätzlich kann man Landmarken als Verknüpfungspunkte zwischen der inneren und äußeren Wissenswelt des Benutzers bezeichnen. Mit ihnen wird das mentale Modell des Benutzers mit der realen Welt referenziert. Es bildet sich somit ein Bild räumlicher Beziehungen, das bei der Bewegung im Raum verwendet wird [Lovelace 1999]. Mit virtuellen 3D Umgebungen wird die intuitive bzw. naive Raumerfassung unterstützt, besonders, wenn von der Applikation natürliche Bewegungsmetaphern verwendet werden. Nach einer Definition über naive Physik von Hardt (1992) mit der Erweiterung von Egenhofer und Mark (1995) für den Begriff „naive Geographie" bezeichnet dieser „...the body of knowledge that people have about the surrounding geographic world..." [Egenhofer 1995, S. 4], also die umfassende Wissenswelt von Menschen über die umgebende geografische Welt. Nach dieser Definition beschreibt „naiv" die spontane und instinktive Methode, um operationale und kognitive Strukturen den individuellen Strukturen durch Raumexploration hinzuzufügen. Der virtuelle Raum formt dann einen Teil des virtuellen geografischen Raums, der durch verschiedene Geometrien und Maßstäbe hinter der virtuellen Kamera repräsentiert wird. Aus diesem Grund kann nach Kuipers und Levitt (1988) der virtuelle geografische Raum nicht von einem einzelnen Betrachtungspunkt umfassend beobachtet werden, sondern benötigt für die Exploration der virtuellen 3D Umgebung natürliche Bewegungsmetaphern. Die kartografische Repräsentation, die die virtuelle Realität syntaktisch und semantisch erweitert, liefert mit Berücksichtigung der natürlichen Bewegungsmetaphern eine simulierte reale Wahrnehmung. Diese wird durch die kartografischen Mechanismen/Erweiterungen unterstützt. Nach Egenhofer und Mark (1995) liefern kartenbasierte, kartenähnliche oder kartografisch erweiterte Ansichten des geografischen Raumes eine bessere Darstellung und unterstützen dadurch die naiven Annahmen von Betrachtern, wo sich jemand durch den Raum bewegt hat. Diese Vermutung stützt sich auf Aussagen wie *„...wenn ich nach Hause komme, dann sehe ich auf der*

Karte nach, wo ich gegangen bin…“ [nach Egenhofer 1995, S. 8]. Heute werden bei existierendem Internetanschluss vielfach Google Earth, Virtual Earth oder ähnliche internetbasierte Kartenansichten/Globen verwendet, um dieser Recherche nachzugehen, GPS Aufzeichnungen zu visualisieren oder global auszutauschen. Diese Überlegungen führen zu dem Schluss, dass 3D Kartografie einerseits die Identitätsbildung des Benutzers durch die naive Geographie ermöglicht und so die Wahrnehmung von visuellen räumlichen Beziehungen unterstützt. Andererseits wird mit der naiven (intuitiven) Interaktion die natürliche Kombination von kartografischen Maßstabsreihen ermöglicht. Natürliche Bewegungsmetaphern mit ihrem direkten Zugang zu Wissensstrukturen unterstützen diese Aussage. In unserem Anwendungsfall der virtuellen 3D Umgebungen fokussiert naive Geographie in erster Linie auf die Bewegung und Wahrnehmung im virtuellen Raum mit seinen erforschbaren räumlichen Strukturen. GIS Funktionalität und Analyse werden vorerst nicht berücksichtigt, da diese je nach existierendem Wissensstand des allgemeinen Benutzers auf die weitere Wissensbildung täuschend wirken können [Feltovich 2004].

Die Exploration und Aufnahme der räumlichen Strukturen wird massiv von den Identitätselementen des wahrgenommenen Bildes, also der äußeren Welt/virtuellen Umgebung, und der inneren Welt getragen. Die Identitätselemente werden durch Punkte, Linien, Flächen und Modelle gebildet, die virtuell räumliche Strukturen abbilden und zumindest teilweise bekannt sind, um die Navigation, Exploration und Wissensbildung mittels virtueller 3D Umgebungen zu ermöglichen. Diese Elemente sind als virtuelle Landmarken Schlüsselfaktoren für die Orientierung in der virtuellen Umgebung. Virtuelle Umgebungen sind trotz intuitiver Bewegung für die Kommunikation von räumlichen Topologien oft irreführend und eingeschränkt. Dies gilt besonders für aufrissdominierte Ansichten, wie sie bei „ego-shooter“ Spielen verwendet werden. In diesen Spielen werden vielfach 2D Karten für die Vermittlung einer Übersicht, Orientierung und Bewegungsrichtung verwendet. Darken und Cevik (1999) beschreiben beispielsweise die sinnvolle Orientierung von Karten in solchen „ego-shooter“ Spielen.

Landmarken werden demnach im realen und virtuellen Raum benötigt. Diese Elemente formen hauptsächlich die kognitive Karte über ein realistisches oder virtuelles Umfeld und werden durch ihre außerordentlichen Eigenschaften, die der Wiedererkennung und Erinnerung dienen, charakterisiert [Sorrows 1999]. Sorrows (1999) unterscheidet Landmarken nach Singularität, Prominenz, Bedeutung und Kategorie. Singularität beschreibt mit visuellen Kriterien den harten Kontrast eines Objektes zu seiner Umgebung. Lynch (1960) bezeichnet Singularität als die wichtigste Eigenschaft. Eine Landmarke ist singulär und visuell auffällig, wenn dieses Objekt bezüglich seiner Größe, Form, Alter oder Reinlichkeit hervorragt. Prominenz betrifft die räumliche Position. Beispielsweise eine Objektform wird von einer bestimmten Örtlichkeit gut erkannt oder ein Objekt befindet sich an einem prominenten Platz (Kreuzung). Die Bedeutung bezieht sich auf die kulturelle oder soziale Wichtigkeit eines Objektes. Eine Kategorie entsteht, wenn Attribute eines Objektes identifiziert werden und für spezifische Situationen denselben Objekten entsprechen. Beispielsweise steht in Kleinstädten eine weiße Kirche im Stadtzentrum. Die weiße Kirche entspricht dann der Kategorie Stadtzentrum in der Mitte der Stadt.

Zusätzlich zu den visuellen Attributen werden Landmarken mit Interaktion versehen, welche die visuellen passiven Landmarken zu aktiven transformieren. Aktive Landmarken werden nicht auf Grund der visuellen Eigenschaften unterschieden, sondern aktivieren sich durch die Nähe eines Benutzers/Sensors oder Interaktion. Über ein entsprechendes Interface werden Informationen ausgetauscht.

Landmarken sind eines von drei Ebenen der räumlichen Wissensakquisition. Um eine mentale Karte zu erstellen, wird Wissen über Landmarken, prozesstechnisches Wissen und Überblickswissen benötigt [Elvins 1997]. Das Wissen über Landmarken stellt Landmarken-Eigenschaften für ein gewisses Gebiet zur Verfügung. Die Wissensbildung der visuellen Landmarken und deren Topologie erfolgt durch Exploration. Prozesstechnisches Wissen kodiert und speichert Navigationsaktionen entlang einer Route, wobei

wahrgenommene Eigenschaften zur Distanz und Drehungen entlang des Weges inkludiert werden. Das Überblickswissen ermöglicht dem Benutzer, eine gedankliche Karte über das Explorationsgebiet zu erstellen und sich im Gebiet sicher zu bewegen. Nach Elvins (1997) wird Überblickswissen hauptsächlich durch Kartenstudium und/oder anhaltender Exploration im Gebiet aufgebaut.

Die Bedeutung von visuellen Landmarken und räumlichen Beziehungen in virtuellen 3D Umgebungen für die Navigation, Wegfindung und räumliche Wissenserweiterung führt zu der Frage, ob aktuelle Perspektiven erweitert/variiert werden können, um die Wissensbildung von Landmarken und des Überblicks zu unterstützen.

4.2.1.3 Projektionsvariationen

Die virtuelle 3D Umgebung in der Geometriestufe (des Kameraraumes) des Renderingprozesses wird letztlich in den Bildraum transformiert. Der Bildraum folgt dann mit seiner Auflösung und Ausdehnung den Eigenschaften des Übertragungsmediums. Zumeist wird das Übertragungsmedium eine Bildebene darstellen. Demnach wird der Kameraraum auf eine Ebene abgebildet. Dafür kommt über die Beschreibung der Kameraeigenschaften eine zentralperspektive oder parallelperspektive Abbildung zum Einsatz.

Die Zentralperspektive kombiniert perspektive Linearität und unendlich viele Maßstäbe in einer Ansicht. Dies führt generell zu geometrischen Verzerrungen der Elemente und einer hohen Varianz der Elementgrößen über die gesamte Präsentationsfläche. Die geometrischen Verzerrungen von Elementen werden zwar über die Gestaltungsgrundsätze abgeschwächt [Marr 1982, Kraak 1988, Rock 1998], erfordern jedoch mehr als ein Element von einer Art, damit über direkte Vergleiche räumliche Beziehungen zu Größe, Ausrichtung, Primitiven usw. erstellt werden können. Die hohe Varianz von Maßstäben in einer Ansicht ermöglicht den direkten Vergleich von sehr großen Maßstäben nahe der Kamera und sehr kleinen Maßstäben in einer ausgerichteten Ansicht. Fallen allerdings die Elementgrößen unter die Auflösung des Übertragungsmediums, dann führt dies zu „toten Informationspixeln“. Wenn also die Eindeutigkeitsbeziehung (vgl. Abschnitt 3.1.2) größer als eins ist, dann werden mehrere Informationspixel des Inhaltes auf ein einziges übertragendes Bildelement des Mediums gebündelt. Eine differenzierte Informationsdarstellung findet dann nicht mehr statt.

Parallelperspektive Ansichten liefern einen einzigen Maßstab über die gesamte Darstellungsfläche. Damit wird der direkte Vergleich von Elementgrößen, Primitiven und Orientierung unterstützt. Durch den isometrischen Charakter der Parallelperspektive werden wegen der Gestaltungsstabilität [Marr 1982, Kraak 1988, Rock 1998] Unstimmigkeiten im menschlichen kognitiven Verarbeitungssystem hervorgerufen. Eine Ebene scheint sich mit wachsender Kameraentfernung aufzuwölben. Der hauptsächliche Nachteil der Parallelperspektive ist damit die Beeinträchtigung der naiven Raumwahrnehmung. Der Vorteil liegt in der maßstabsgebundenen Visualisierung.

Die Standardperspektiven liefern noch keine befriedigende Lösung bei der optimalen Nutzung der Präsentationsfläche und ihrer Funktionalität im Bereich Übersicht und Orientierung. Aus diesem Grund werden im Folgenden Variationen der Abbildungsprojektion angeführt, die einem progressiven und degressiven Zugang folgen. Die Variationen folgen nur den syntaktischen Überlegungen, das Übertragungsmedium visuell bestmöglich zu nutzen. Ihre Wirkung auf die semantische und pragmatische Ebene sollen Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein.

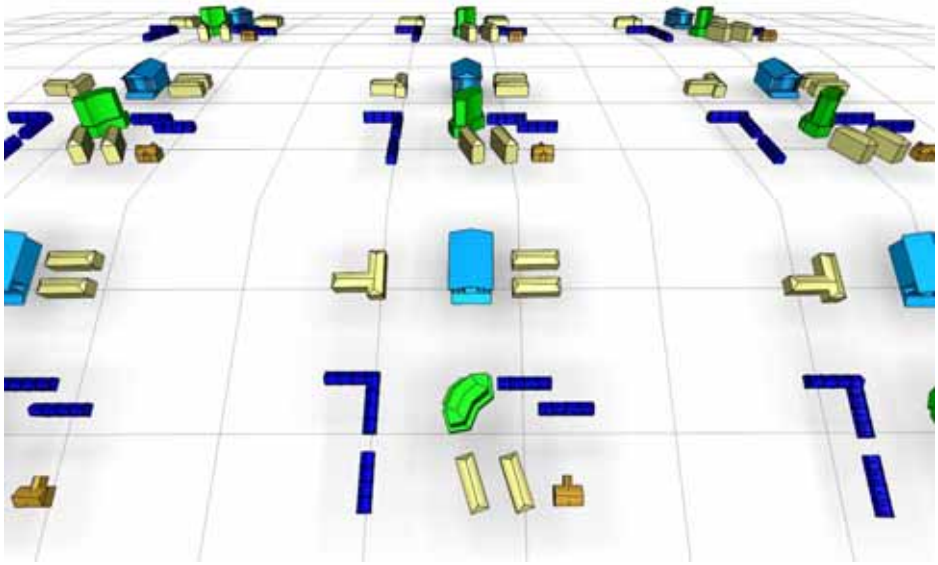


Abb. 4-10: Progressive Perspektive.

Der progressive Zugang verstärkt den perspektiven Eindruck, indem grundrissbasierte Zonen nahe der Kamera und aufrissbasierte Zonen für weitere Kameraentfernungen verwendet werden. Die Gruppierung zu „Kameravisur"-Zonen ermöglicht die spezifische Adaptierung der Kartenelemente in diesen Zonen. Beispielsweise liefert eine grundrissbasierte Ansicht vorwiegend die Grundrisse mit begrenzter Aufriss-Information der Elemente. In dieser Situation ist es wichtig, die Grundriss-Information mit ihrer Bedeutung zu erhalten. Somit werden Generalisierungsmaßnahmen für die Grundrisse wichtig. Andererseits wird in aufrissbasierten Zonen der Grundriss nahezu verschwinden. Die hauptsächlich vermittelte Information wird durch den Aufriss gebildet. Seine Bedeutung ist demnach zu erhalten oder hervorzuheben, um die Orientierungsfunktion der Elemente zu unterstützen. Der grundrissbasierte Vordergrund liefert einen Überblick der räumlichen Grundrisstopologie um den Kamerastandort. Der Zwang des Aufrisses im Hintergrund verstärkt visuelle Landmarken über deren Formcharakter. Deren Hervorhebung gemäß Bedeutung und Bekanntheit liefert direkt die Orientierungsfunktion in der virtuellen 3D Umgebung. Räumliche Beziehungen zwischen der vordergründigen Übersicht und den hintergründigen Landmarken werden verstärkt, besonders, da Standardperspektiven auf digitalen Übertragungsmedien nicht über den Leistungsumfang verfügen, diese beiden Extreme zu vereinen.

Die progressive Zentralperspektive erlaubt durch die Bildung von Kameravisur-Zonen auch einen stark eingeschränkten Blickwinkel (sehr lange Brennweite), ohne die perspektive Wirkung zu verlieren. In den Zonen variiert dann der Maßstab nur schwach (eine lange Brennweite der virtuellen Kamera vorausgesetzt). Es kann damit entsprechend dem Zonenmaßstabsbereich die Informationsgeneralisierung durchgeführt und die Elemente entsprechend den Zonenparametern (Ausrichtung zur Kamera, etc.) angepasst werden.

Die progressive Parallelperspektive verwendet dieselbe Konstellation für Kameravisur-Zonen. Es kann eine idente Argumentation für die Funktionalität bei Verwendung von Grund- und Aufriss-Ansichten verwendet werden. Allerdings verfügt die Parallelperspektive für sämtliche Kameravisuren und -entfernungen über denselben Maßstab und ändert nur die isometrische Ansicht. Die progressive Parallelperspektive verwendet also die konstante metrische Eigenschaft mit dem Wechsel von Grund- zu Aufriss, um für die intuitive Raumerfassung verwendbar zu bleiben.

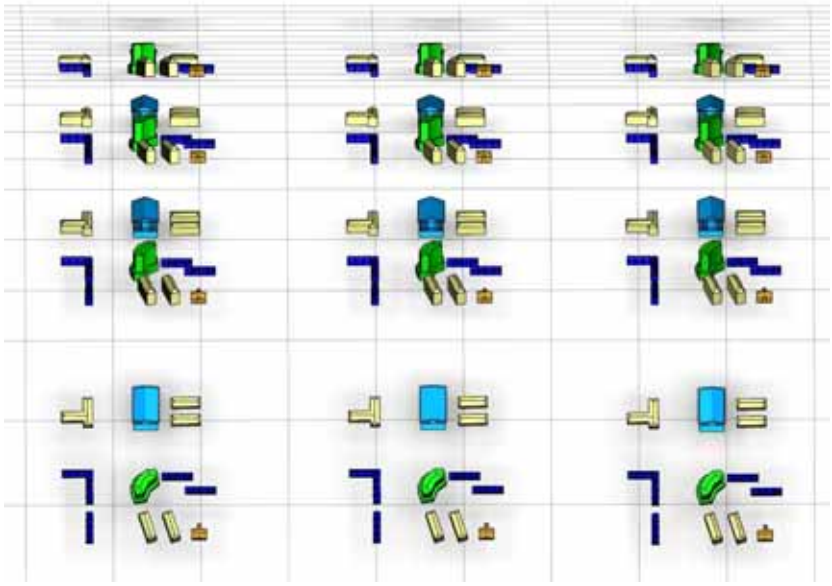


Abb. 4-11: Progressive Parallelperspektive.

Der degressive Zugang zerstört grundsätzlich die intuitive Raumwahrnehmung, da statt eines Himmelbereichs eine grundrissbasierte Ansicht eingesetzt wird. Die perspektive Kontinuität entspricht nicht den menschlich kognitiven Erwartungen. In der degressiven Lösung werden aufrissbasierte Ansichten nahe der Kamera und grundrissbasierte Ansichten für die kamerafernen Zonen verwendet. Das Ziel dieser Konstellation ist, die Benutzerperspektive nahe der Kamera zu simulieren und so ein hohes Wiedererkennungspotential mit der Realität zu erreichen. Gleichzeitig wird im Bereich des Himmels eine Übersicht der geplanten Tour/Strecke mit der grundrissbasierten Zone geliefert. Es bestehen also Anforderungen für ein hoch-detailliertes Modell im Vordergrund und ein entsprechendes maßstabsabhängiges Design im Hintergrund. Der Stil im Rendering (zwischen photorealistisch und kartenbezogen) muss sich auf jeden Fall ändern, um die auftretende Verwirrung durch die Ansichtskonstellation zu mindern.

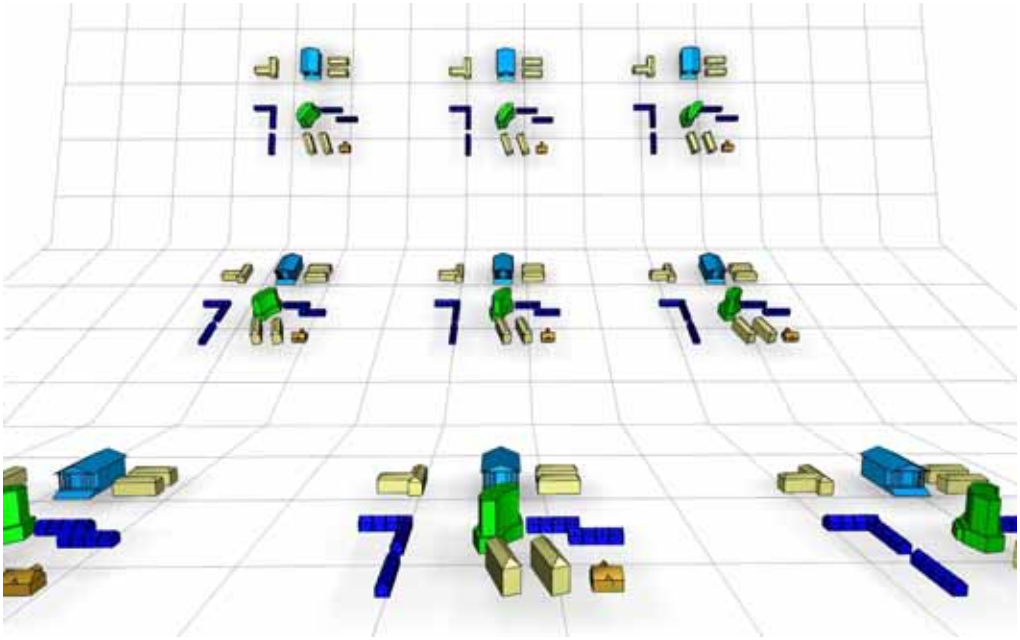


Abb. 4-12: Degressive Perspektive.

Alle perspektiven Variationen haben das gemeinsame Ziel, die eingeschränkte Informationsfläche des Übertragungsmediums erweitert zu nutzen. Mit der progressiven und degressiven Kombination von Grund- und Aufriss wird die Funktion des Überblicks und der Orientierung verstärkt gestützt. Über die Kameravisur-Zonen wird die unendlich große Anzahl von Maßstäben auf wenige Maßstabsgruppen reduziert. Mit diesen kann konkret auf vorhandene Generalisierungsstufen für 3D Modelle zurückgegriffen werden. Mit dieser Adaptierung der Elemente in der virtuellen 3D Umgebung an das Übertragungsmedium werden auch tote Informationspixel in der Ansicht reduziert. Beispielhaft sollen diesbezüglich Vergleiche aktueller 3D Stadtmodelle angeführt werden.

4.2.1.4 Vergleiche von Ansichten aktueller 3D Stadtmodelle – Identifikation von „toten Pixeln“

Aktuelle 3D Stadtmodelle verwenden generell Standardperspektiven, wobei der Umfang dieser Ansichten begrenzt ist. Entweder entstehen im aufrissbasierten Bild große Verdeckungen mit ebenso großen Bereichen des Himmels und der Straße, die nur bedingt für den Informationstransfer genutzt werden, oder die grundrissbasierten Ansichten können nur einen begrenzten Ausschnitt für den Überblick darstellen. In der Mischsituation erkennt man bald Bereiche, die für den Informationstransfer nutzbar sind: der überdimensionale Straßenbereich, der Teil des Himmels und die kameraentfernten Elemente.

Abb. 4-13: Standardperspektiven eines 3D Stadtmodells. Hergestellt mit dem LandXPlorer System.

Die kameraentfernten Bereiche, in welchen der Eindeutigkeitskoeffizient überschritten wird (vgl. Abschnitt 3.1.2), ergeben eine bunte Pixelmasse. Die einzelnen Bildpunkte können weder einem größeren Konstrukt (Gebäude) zugeordnet noch mit anderen Elementen sinnvoll in Beziehung gesetzt werden. Diese Bildpunkte stellen eine tote Informationspixelmenge dar.

Abb. 4-14: Identifikation von toten Informationspixeln in einer Standardperspektive. Hergestellt mit LandXPlorer System.

Die tote Informationspixelmenge ist abhängig von den Betrachtungsvariablen, die ihrerseits die Größe des unveränderten Kartenelementes auf dem Übertragungsmedium festlegen. Wird ein Element kleiner als ein Informationspixel (müssen also mehrere Elemente in einem Informationspixel dargestellt werden), dann wird dieses Element aus seinem Zusammenhang gerissen. Eine Erweiterung des Blickwinkels

versucht mehr Elemente darzustellen. Dadurch wird der Bereich der toten Pixel vergrößert. Ebenso verkleinert eine flache Kameravisur die erkennbaren Grundrisse und resultiert so in toten Informationspixeln. Die Bereiche werden verkleinert, wenn in den betroffenen Maßstabszonen die Perspektive variiert wird, so wie dies mit den Projektionsvariationen beschrieben wurde.

Nachdem theoretische Überlegungen oft nicht umsetzbar sind, massive Probleme mit der grafischen Datenverarbeitung (im Speziellen bei virtuellen 3D Stadtmodellen) mit sich bringen und nicht konkret mit Benutzern getestet werden können, wurde in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Computergrafische Systeme am Hasso Plattner Institut, Universität Potsdam, eine beispielhafte Realisierung von Projektionsvariationen für Echtzeitapplikationen umgesetzt.

4.2.1.5 Realisierung einer einfachen progressiven/degressiven Perspektive

Die einfache Realisierung der Projektionsvariation für Echtzeitsysteme wurde mittels einer biegbaren Grundfläche gelöst. Durch die Biegung wird entweder der Grund- oder Aufriss verstärkt. Beide Teile der biegbaren Grundfläche sind mit einer konkaven Übergangszone verbunden, sodass ein homogener Wechsel zwischen der Aufriss- und Grundrisszone möglich wird. Nachdem die Übergangszone durch Biegung aller Elemente die Wahrnehmung stört, sollte diese nicht mehr als für den homogenen Wechsel notwendig ausgedehnt werden.

Diese Methode der biegbaren Grundfläche ermöglicht eine effiziente Nutzung der Darstellungsfläche, die nahtlos mehrere Perspektiven in einem resultierenden Bild vereint. Beide Deformationen, sowohl die progressive als auch die degressive, versuchen die Benutzerorientierung mit genügender Anzahl von Anhaltepunkten (Landmarken) zu unterstützen. Die kaum beeinträchtigte Rahmenrate (frame rate) beim Rendering ermöglicht die interaktive und dynamische Darstellung und somit die Echtzeitbewegung im deformierten virtuellen Raum.

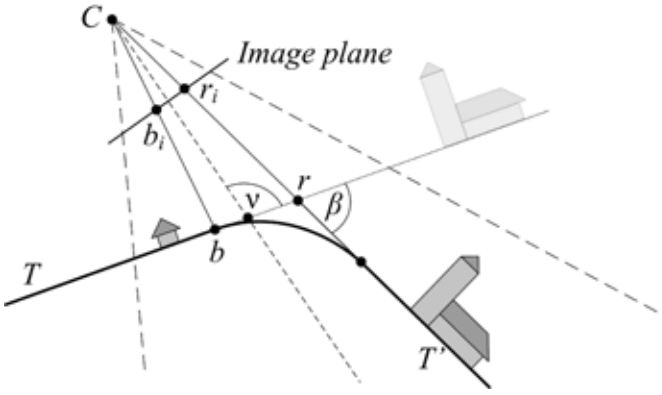


Abb. 4-15: Konzept der progressiven Grundfläche; nach Lorenz et al 2008.

Die Technik verwendet eine üblicherweise horizontale Referenzebene T, die erhöht werden kann, um die Dächer der durchschnittlichen Gebäudehöhen als Horizont zu definieren oder Verzerrungsartefakte zu reduzieren. Einem Punkt P einer virtuellen 3D Stadt, der nicht in dieser Referenzebene liegt, wird ein Punkt P_T in der Referenzebene zugewiesen. Die Deformation wird dann mit dem Punkt P_T berechnet und auf P angewendet. P_T kann entweder eine einfache Vertikalprojektion von P auf T sein oder, wenn die Objektform frei von der Deformation bleiben soll, ein Referenzpunkt des gesamten Objektes in T.

Die Unterteilung des Präsentationsbildes beim progressiven Ansatz besteht aus folgenden Betrachtungsparametern:

C – Kameraposition

v – Betrachtungswinkel der Referenzebene

b_i – Trennlinie der ersten Fokusebene und der Übergangszone

r_i – Linie des Horizonts im Präsentationsbild

In der Abbildung 4-13 ist die typische Situation für den progressiven Fall skizziert. In der Implementation wird der Übergangsbereich durch eine quadratische Bezier Spline Kurve gebildet, die an den Grenzen gute Kontinuitätseigenschaften aufweist. Die Trennlinie b, die die Projektion von bi auf die Referenzebene T ist, markiert den Beginn der Übergangszone. Die Halbebene T', die der Übergangszone folgt, führt zur Darstellung des Horizonts. Diese wird als Rotation von T um einen Winkel β um die Rotationslinie r, die die Projektion von r_i auf T ist, berechnet. Mit der Projektion der Rotationslinie r wird festgelegt, wann ein Element außerhalb der Übergangszone liegt. Innerhalb der Übergangszone bleibt die Form eines Elementes nur erhalten, wenn ein einzelner Referenzpunkt für die Transformation des gesamten Elements definiert wurde. Grundsätzlich werden die Parameter b_i und r_i kaum verändert, da C und v die Benutzerbewegung im virtuellen Raum tragen. Um das Argument der guten Präsentationsflächen-Nutzung verwenden zu können, ist es sinnvoll, den Bereich des Himmels zu minimieren und doch eine erkennbare Skyline bestehen zu lassen. Die Lage von r im oberen Viertel der Präsentationsfläche ergab in den Tests grundsätzlich gute Ergebnisse. Für die genauere Beschreibung der Transformationsberechnung wird auf den Beitrag von Lorenz verwiesen [Lorenz 2008].

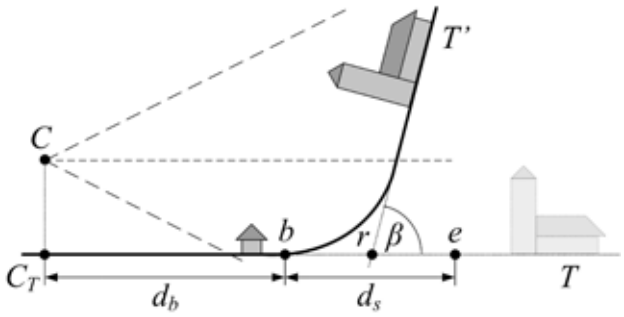


Abb. 4-16: Konzept der degressiven Grundfläche; nach Lorenz et al 2008.

Der degressive Ansatz verwendet ähnlich der einfachen progressiven Perspektive zwei Bereiche der Referenzebene, die mit einer Übergangszone verbunden sind. In diesem Fall ist der Zugang über das Präsentationsbild nicht zielführend, da hier kein nachvollziehbarer Verhaltenszusammenhang besteht. Eine effektivere Visualisierung wird mit einer fixierten Orientierung der Teilebene T' relativ zur Referenzebene T im Modellraum erreicht. Als Konsequenz dieser Situation ist die Kurve der Übergangszone nicht vom Blickwinkel abhängig, sondern kann unabhängig davon definiert werden. Trotzdem folgt die Deformation der Kamera, sodass die Rotationsachse r einen fixen Abstand und Orientierung relativ zur Kamera aufweist.

Der degressive Ansatz verwendet folgende Parameter, um die Perspektive zu definieren:

C – Kameraposition

β – Winkel zwischen T und T'

d_b – Distanz zwischen C_T (C auf T projiziert) und b

d_s – Breite der ursprünglichen Übergangszone

Analog zum progressiven Ansatz ist T' eine Rotation der Referenzebene T um die Rotationslinie r, und die Übergangszone folgt einem quadratischen Bezier Spline. Die Linie b markiert den Beginn der Über-

gangszone und liegt immer parallel zur Präsentationsbild-Ebene. Sie hält den Abstand d_b von der projizierten Kameraposition C_T auf T. Die Rotationslinie r wird als Mittellinie der undeformierten Übergangszone festgelegt. Damit ist diese parallel zu b mit einer Distanz von $d_s/2$. Diese Konstellation vereinfacht die Implementierung [Lorenz 2008]. Alle Parameter außer C verändern sich generell kaum. Sie beeinflussen zwei Eigenschaften der degressiven Perspektive: die Größe des verfügbaren Orientierungsbezugs nahe der Kamera mit db und die Menge der sichtbaren Hintergrundinformation mit β. Der Parameter ds kontrolliert direkt die Krümmung der Übergangszone. Für die genauere Beschreibung der Transformationsberechnung wird wieder auf den Beitrag von Lorenz verwiesen [Lorenz 2008].

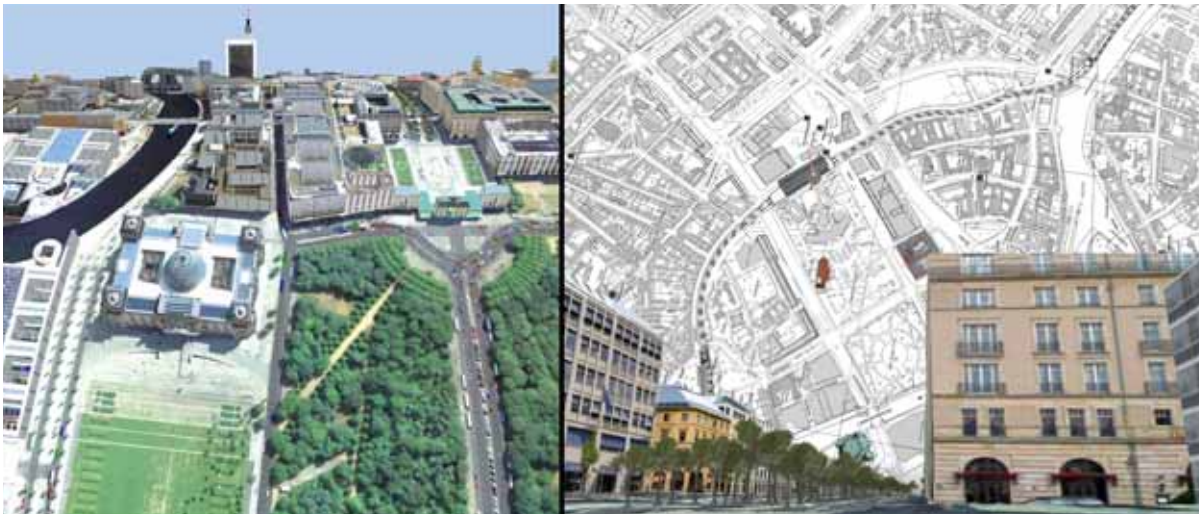


Abb. 4-17: Progressives und degressives Beispiel; erstellt mit LandXPlorer System, nach Lorenz et al 2008.

Dieser Abschnitt 4.2.1 beschäftigte sich mit einer besseren Ausnutzung der Präsentationsfläche virtueller 3D Umgebungen. Dieses Interface zwischen Computer und Mensch wird meistens ein Computerdisplay mit beschränkten Informationspixeln sein, sodass eine optimale Verwendung aller Pixel notwendig ist. Die Manipulation der Betrachtungsvariablen durch Variation der Perspektiven erlaubt die manipulierte Kombination von Grund- und Aufriss. Vorteile und entsprechende Funktionen beider Ansichtsformen können so, einer speziellen Aufgabe folgend, vereint werden. Diese Anpassung der Perspektiven ist eine globale Modifikation, die die gesamte Ansicht beeinflusst. Dem gegenüber werden konkrete Eingriffe in Bereiche der Präsentationsfläche über konkrete Gestaltungsmechanismen durchgeführt.

4.2.2 Gestaltungsmechanismen in 3D – die Steuerung der grafischen Elemente

Die Gestaltungsmechanismen in 3D greifen in die Darstellungselemente ein und beeinflussen diese. Die Mechanismen verändern die grafischen Elemente, die für das visuelle Auftreten der Elemente verantwortlich sind. Beispielsweise verändert die Luftperspektive die Farbsättigung mit wachsender Kameraentfernung oder die Ausrichtung eines 3D Elementes verändert die scheinbare Form (Silhouette). Die Existenz der Gestaltungsmechanismen in 3D erfordert eine strukturierte Betrachtung, um kartografischen Ansprüchen genügend eine 3D Karte aufbauen zu können. Umfassende Abhandlungen zur Verwendung der grafischen Variablen in der topografischen und thematischen Kartografie mit analogen Übertragungsmedien beschreiben die facheigenen Ansprüche [z.B. Bertin 1974, Spiess 1991, Hake/Grünreich 1994, und Andere]. Im Bereich 3D werden weitere Variablen erkennbar, die hier eher als Gestaltungsmechanismen beschrieben werden sollen. Ihre Einbringung im virtuellen 3D Umfeld ist zwar variabel einsetzbar, hat aber als grafischer Mechanismus immer direkte Auswirkung auf die grundlegenden grafischen Variablen. Der grafische Mechanismus bezieht sich dabei auf perzeptive, psychologische und ästhetische Wirkungen. Nach Spiess (1991) wird im Kartengestaltungsprozess nach angemessenen Dar-

stellungsformen der Information gesucht, indem Kartenelemente, zusätzliche Einflüsse und Kommunikationsmöglichkeiten und -grenzen sorgfälltig gegeneinander abgewogen werden [Spiess 1991]. Für Häberling (1999) sind im Gestaltungsprozess einer topografischen 3D Karte drei Aspekte abzuwägen: die Bestimmung der Benutzergruppe, Spezifikation der Benutzeranforderungen und Ableitung von Anforderungen an die Kartensymbolik [Häberling 1999]. Der Gestaltungsprozess von 3D Karten wird grundsätzlich von der freien Blickgeometrie charakterisiert. Anstatt in einer unbeweglichen Ansicht alle Elemente gestalterisch abzustimmen, müssen wegen der freien Blickgeometrie dynamische Gestaltungsprozesse etabliert werden, die zumindest eine grobe Abstimmung der Elemente im gestalterischen Sinn ermöglichen. Es müssen daher nicht nur globale Betrachtungs- und Gestaltungsvariablen berücksichtigt werden, sondern auch lokale elementweise Gegebenheiten. Aus dieser Eigenschaft der 3D Karte ergibt sich die variierende Darstellung eines einzelnen Kartenelementes innerhalb derselben Karte unter Berücksichtigung der syntaktischen und semantischen Ebenen. Beispielsweise reicht die Darstellung eines Kirchengebäudes von der detaillierten Rekonstruktion über vereinfachte Modelle bis zur Symbolisierung als primitives 3D Symbol, wenn dieser Umfang von der Betrachtungssituation auf Grund perzeptiver Mindestgrößen gefordert wird. Beispiele automatisierter Gebäudevereinfachungen finden sich in unterschiedlichen Forschungsgruppen [Meng 2002, Sester 2003], wobei die immanenten Eigenschaften von Elementgruppen die wichtigsten Probleme aufwerfen. Alternative Ansätze bei der Konstruktion von virtuellen 3D Stadtmodellen aus Straßenvektordaten und Gebäudehöhen liefern Erweiterung für abstrahierte Darstellungen, die in gewissen Maßstabszonen eingearbeitet werden können [Glander 2007].

Die vorliegenden Anforderungen an Karten, die aktuellen Möglichkeiten der Computergrafik und das Wahrnehmungssystem des Menschen führen zur Kategorisierung in globale, objektbezogene Gestaltungsmechanismen und grafische Variablen in 3D.

4.2.2.1 Globale Gestaltungsmechanismen in 3D

Die globalen Gestaltungsmechanismen in 3D sind eng mit den psychologischen Tiefenwahrnehmungsparametern für Pseudo 3D Darstellungen verbunden. Generell verstärken sie die Tiefenwahrnehmung. Zumindest wird aber eine intuitive Tiefendifferenzierung und die entsprechende Informationsverstärkung unterstützt. Beispielsweise unterstützt ein Schattenwurf die Wahrnehmung des Aufrisses und bietet eine sichtbare Abstandsrelation zwischen Element und Untergrund. Die globalen Gestaltungsmechanismen sind aber auch Teil der computergrafischen Mindestanforderungen, sodass in einer 3D Szene überhaupt etwas sichtbar werden kann. Terribilini (2001) und Häberling (2003) teilen die globalen Gestaltungsmechanismen in jene der Beleuchtung, Schattierung und Atmosphäre. Zusätzlich ist noch die Tiefenschärfe mit ihrem Schärfebereich zu berücksichtigen. Im Folgenden sollen diese Mechanismen detailliert angeführt und mit ihren computergrafischen Variablen ergänzt werden.

4.2.2.1.1 Beleuchtung

Die Beleuchtungsmechanismen folgen Beleuchtungsmodellen, die computertechnisch der Realität nachempfunden werden. Die Vielzahl natürlicher Beleuchtungssituationen kann nur begrenzt modelliert werden, sodass mit endlichen Lichtarten komplexe Situationen simuliert werden [Foley 1995, Graf 1995]. Jede Lichtart wirkt auf die in die virtuelle 3D Umgebung eingebetteten Elemente. Die Kombination von Lichtarten resultiert in der Überlagerung von ihren spezifischen Effekten. Die Lichtarten umfassen das Umgebungslicht, gerichtete Licht, Punktlicht und Strahllicht. Im Allgemeinen werden die virtuellen Lichter mit ihrer Position, Geometrie, Intensität und Farbe verändert.

Die *Lichtposition* betrifft das Umgebungslicht und gerichtete Licht nicht, da deren Position im Unendlichen liegt. Ansonsten korreliert die Lichtposition mit der Intensität der Lichtquelle, sodass die Auswirkung des Lichtes stärker oder schwächer auf die Elemente einwirkt. Damit die Wirkung des Lichtes auf

den Elementoberflächen erkennbar bleibt, soll die Lichtquelle höher als der höchste Objektpunkt positioniert werden. Ausnahmen davon sind spezifisch eingesetzte Punkt- und Strahllichter, die im näheren Umfeld von Elementen einen Helligkeitsspot/Hervorhebung definieren. Damit wird das Licht nicht nur zur Ausleuchtung genutzt, sondern kann für die Lenkung der Aufmerksamkeit eingesetzt werden.

Die *Lichtgeometrie* umfasst die Einfallsrichtung, den Einfallswinkel und den Streuwinkel des Lichtes. Mit diesen Beschreibungen der Lichtausbreitung und des Lichtstrahlauftreffens wird die Ausleuchtung der 3D Szene präziser festgelegt. Die Einfallsrichtung eines gerichteten Lichtes variiert über 360° in der Horizontalen. Der Einfallswinkel beschreibt den Winkel zwischen Hauptlichtstrahl und Horizontalebene. Der Einfallswinkel variiert demnach zwischen 0° und 90°. 0° entspricht dann einer horizontalen und 90° einer vertikalen Beleuchtung. Die Einfallsrichtung kombiniert mit dem Einfallswinkel decken mit ihren Möglichkeiten die Halbkugel über den Elementen der virtuellen 3D Umgebung ab. Der Streuwinkel verändert den Öffnungswinkel des Lichtkegels. Sein Variationsbereich liegt zwischen 0° und 180°, wobei 180° einer Punktlichtquelle entsprechen.

Die *Lichtintensität* hilft bei der gezielten Steuerung von Beleuchtungseffekten, um die gegenseitige Einwirkung mehrerer Lichtquellen zu koordinieren. Bei der Kombination mehrerer Lichtquellen wird damit die wahrnehmbare Wirkung der einzelnen Komponenten festgelegt. Die Variation der Intensität folgt grundsätzlich nicht natürlichen physikalischen Gesetzen, sondern erfolgt anhand einer Skalierung, die erst die gegenseitige Abstimmung der Lichter ermöglicht.

Jeder Lichtquelle wird eine *Lichtfarbe* zugeordnet, sodass differenzierbare Effekte eingerichtet werden können. Mit der farblichen Änderung von spezifischen Lichtern werden diese leichter differenzierbar bzw. ergeben Mischsituationen mit vorhandenen globalen Gestaltungsmechanismen (z.B.: färbiges Licht und Dunst). Der Variationsspielraum richtet sich nach dem Ausgabemedium, das die mehr als 16 Millionen, im Computer verwalteten Farben für die Darstellung eingrenzt.

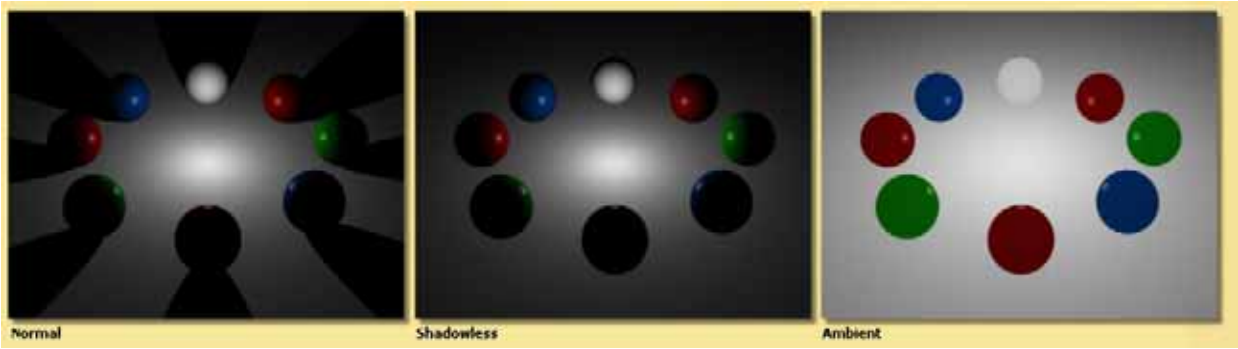


Abb.4-18: Unterschiedliche Lichtsituationen mit und ohne Schatten, http://www.housepixels.com /aoimanual/lights.html.

4.2.2.1.2 Schattierung

Mit Verwendung der Beleuchtungsmechanismen wird die Schattierung aktiviert. Entsprechend den Variablen der Beleuchtung werfen Elemente in der virtuellen 3D Umgebung spezifische Schatten. Schatten helfen eine relative Tiefe und die Form von Elementen korrekt wahrzunehmen. Die menschliche Fähigkeit dreidimensionale Formen aus zweidimensionalen Abbildungen abzuleiten, wird von den Oberflächenschatten massiv beeinflusst [Jones 1997]. Eine dreidimensionale Struktur mit entsprechendem Beleuchtungsmodell resultiert in einem Schattierungseffekt, der mehr oder weniger stark ausgeprägt sein kann. So lassen sich für die Schattierung eine Schattierungsintensität und Schlagschattenintensität definieren.

Die *Schattierungsintensität* legt die Stärke eines Schattenwurfes fest. Häufig hängt die Schattierungsintensität mit der Lichtintensität zusammen und kann mittels vergleichbarer Skala gemäß den eingesetzten Beleuchtungsmechanismen geregelt werden. Grundsätzlich kann die Schattierungsintensität von 0% bis 100% variieren, wobei 0% keine Schattierung und 100% die maximal mögliche Schattierung benennt. Die maximale Schattierung soll allerdings in einem Maß festgelegt werden, sodass weitere grafische Variablen eindeutig wahrnehmbar bleiben, auch wenn ihr Umfang beeinträchtigt wird.

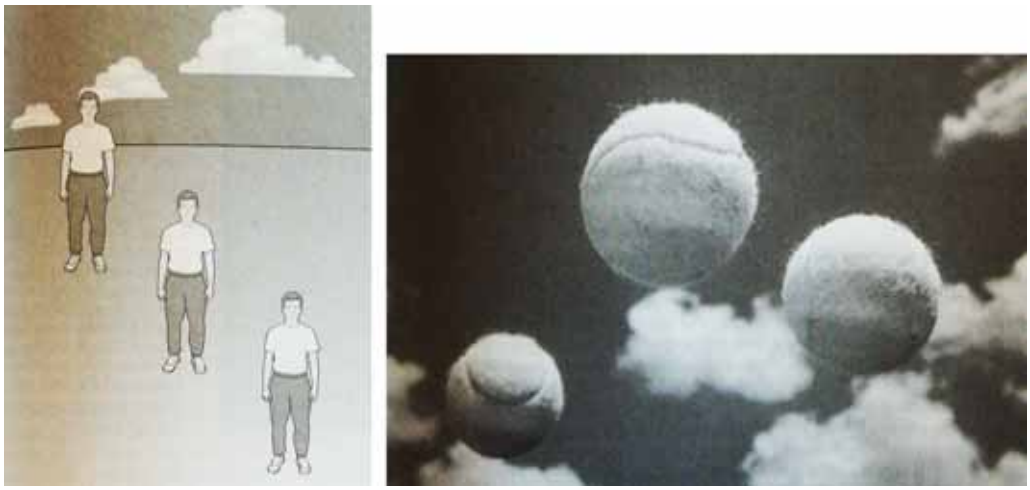


Abb. 4-19: „Schwebende Elemente": Relative Höhe und relative Tiefe. Die Beziehung zum Horizont in Kombination mit der linearen Perspektive und einem Schattenwurf erlaubt die Abschätzung der Höhe. Der Schattenwurf, der den Bezug zu einem anderen Element (Grundfläche)) herstellt, hilft bei der Abschätzung der Tiefeninformation, Rock 1998.

Die *Schlagschattenintensität* beschreibt die Stärke des Schlagschattens eines Elementes auf seine Umgebung. Der Schlagschatten ist dabei der Schattenwurf, den ein Element durch seine dritte Dimension und die entsprechende Beleuchtungssituation hervorruft. Dieser hilft wegen dieser Eigenschaft besonders bei der relativen Positionierung und Höhenbestimmung. Fehlt depr Schlagschatten, dann scheinen die Elemente über dem Gelände zu schweben. Allerdings hat ein zu intensiver Schlagschatten auch negative Auswirkungen auf die 3D Umgebung, indem benachbarte Elemente ungünstig beeinflusst oder gar unkenntlich/verdeckt werden. Sehr flache Lichteinfallswinkel führen zu langen Schlagschatten, die ebenso über größere Bereiche der virtuellen 3D Umgebung auf benachbarte Elemente einwirken. Der Wert der Schlagschattenintensität reicht von 0% bis 100%, wobei 0% keinen Schlagschatten bedeutet und 100% die maximale Schlagschattenwirkung.

Mit dem Mechanismus der „Global Illumination" (oder auch „Ambient Occlusion") kann eine sehr weiche Schattierung hervorgerufen werden, die die Vorteile des harten Schlagschattens (relative Positionierung, Höhenbestimmung) bereitstellt, aber gleichzeitig die negativen Auswirkungen des Schlagschattens nicht aufweist. Der Effekt entspricht dem Eindruck eines Modells, welches mit indirektem Licht oder „verdecktem Himmel" betrachtet wird [Jobst 2005].

4.2.2.1.3 Atmosphäre

Die atmosphärischen Mechanismen unterstützen als psychologische Tiefenwahrnehmungsparameter die intuitive Raumwahrnehmung in der virtuellen 3D Umgebung, da damit eine assoziative Wirkung zur Realität ausgelöst wird [Jones 1997]. Dabei wird nicht Fotorealismus der Kartenelemente oder des gesamten virtuellen Umfeldes angestrebt, sondern lediglich die abstrakte 3D Karte näher an die mentale Erwartung des Betrachters herangeführt. Die Komplexität der realen Atmosphäre wird mit computergrafischen Methoden immer mehr angenähert. So lassen sich heute der Dunst, Nebel, Oberflächenreflexio-

nen, Himmelsstruktur, Jahreszeit und Himmelskörper aus den atmosphärischen Mechanismen simulieren.

Der *Dunst* entsteht im natürlichen Umfeld auf Grund von Luftpartikeln, die aus kleinen Wassertropfen, Staub oder Russpartikel bestehen. Im virtuellen Umfeld können diese Luftpartikel mit Partikelsystemen nachempfunden werden. Durch die Summierung der Partikel mit wachsender Distanz handelt es sich bei dem Mechanismus Dunst um eine distanzabhängige Abschwächung der Sicht des Hintergrundes gegenüber dem Vordergrund. Mit der Integration von Dunst wird der Vordergrund und somit die Raumtiefe stärker betont. Dunst ist die psychologisch stärkste Komponente der atmosphärischen Mechanismen. Aus diesem Grund wurde unter Luftperspektive (der psychologische Tiefenwahrnehmungsparameter) meistens die Komponente Dunst verstanden. In analogen Vogelschaukarten wurde diese Komponente immer wieder zur Verstärkung der Tiefe eingebunden [Imhof 1963, Berann 1986, Hölzel 1963]. Bei der Komponente Dunst variieren die Intensität des vollen Dunstes, die Dunstfarbe, Distanz zur Dunstaktivität, Distanz bis zum Erreichen von 100% Dunst (Dunstgradient/-zunahme).

Die Komponente *Nebel* wird immer wieder mit der Komponente Dunst verwechselt. Es handelt sich dabei ebenso um Luftpartikel (vorwiegend Wasserpartikel), die jedoch in Abhängigkeit von der Höhe als Luftschichten auftreten. Die Beeinträchtigung der Sicht erfolgt auch in Abhängigkeit zur Betrachtungsdistanz, da sich auch hier die Luftpartikel addieren. Die natürliche Lage des Nebels in der Nähe von Gewässern oder Tälern führt in der 3D Karte zur Betonung der Topografie, also der Tal- und Flussläufe. Festgelegt wird die Komponente Nebel mit der Nebelintensität, der Nebelfarbe, einer Nebelobergrenze und Nebeluntergrenze.

Die *Oberflächenreflexionen* sind auch Teil der Oberflächeneigenschaften von Elementen (also objektbezogene Gestaltungsmechanismen – Materialeigenschaften), die die Reflexion der Lichtstrahlen an der Elementoberfläche in Abhängigkeit von der Beleuchtungssituation bestimmen. Die Eigenschaften der Reflexion reichen von einer direkten Reflexion in Form einer Spiegelung bis zur diffusen, matten Reflexion [Jones 1997]. Bei der Reflexion variieren die Reflexionsintensität und der Reflexionscharakter.

Die Komponente *Himmelsstruktur* bringt wieder assoziativen Charakter zur natürlichen Landschaft mit sich. Besonders wenn Himmelsbereiche in der virtuellen 3D Ansicht vorliegen, liefert die Strukturierung in diesem Bereich eine Unterstützung der Perspektive und somit die Stärkung der Tiefenwirkung [Patterson 2000]. Die farbliche Anpassung erlaubt zudem tages- und jahreszeitliche Adaptierungen. Variiert werden bei der Himmelsstruktur der Bewölkungstyp, Bewölkungsfarbe und Himmelsfarbe.

Die Komponente *Jahreszeit* ist besonders für jahreszeitliche Anpassungen, beispielsweise im Rahmen von Tourismus- und Aktivitätskarten, nützlich [Jones 1997, Petrovic 2001]. Sie beeinflusst sämtliche Kartenelemente, aber auch globale Gestaltungsmechanismen, wie Beleuchtung oder Schattierung. Derzeit ist dem Autor keine dynamische Applikation bekannt, die in Echtzeit jahreszeitliche Adaptierungen berücksichtigt. Statische 3D Karten mit detaillierter Vegetations- und Beleuchtungsmodellierung werden gerne mit Systemen wie Virtual Nature Studio erstellt [VNS].

Letztlich fügt die Komponente *Himmelskörper* Sonne, Mond, Planeten oder Sterne in die Himmelsstruktur. Wenn Himmelskörper als eigenständige Elemente berücksichtigt werden, dann ist neben ihrer scheinbaren Bewegung auch der Einfluss auf die Beleuchtungssituation modellierbar. Ihre Variablen umfassen dann ihre Position, Größe, Lichtart, Strahlungseigenschaften und scheinbare Bewegung. Eine andere Implementierungsmethode verwendet Bilder für die Himmelskörper in Form von Texturen oder Billboards, wobei je nach Modellierungsdetaillierung (Textur für den Himmel oder für das Element) die Strahlungseigenschaften einbindbar sind.

4.2.2.1.4 Tiefenschärfe

Die Tiefenschärfe bezeichnet den Fokussierungsbereich der Kamera. Damit werden abhängig von der Kameraentfernung Bereiche/Elemente der gesamten Darstellung scharf und andere unscharf dargestellt. Der Fokus auf bestimmte Bildteile wird damit gesteuert und unterstützt ebenso die Tiefenwirkung. Variiert wird beim Einsatz der Tiefenschärfe der Fokusbereich mit einer nahen und fernen Fokusdistanz.

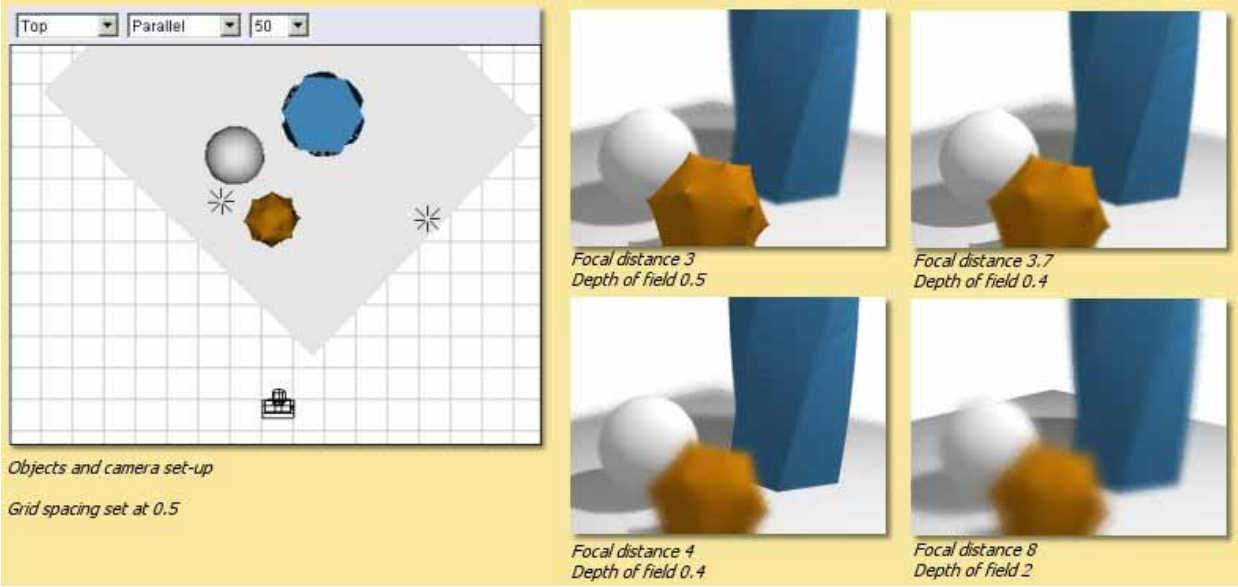


Abb. 4-20: Zusammenstellung der Tiefenschärfe, http://www.housepixels.com/aoimanual/rendering.html#cameras.

4.2.2.2 Elementbezogene Gestaltungsmechanismen in 3D

Mit den elementbezogenen Gestaltungsmechanismen wird das Erscheinungsbild der einzelnen Elemente, vorzugsweise der 3D Elemente, gestaltet. Teilweise können diese Mechanismen zusätzlich zu den grafischen Variablen auch auf allen grafischen Elementen (Punkt, Linie, Fläche) angewendet werden. Je nachdem, ob ein Mechanismus auf ein Element anwendbar ist, wird dessen Wirkung mit den grafischen Variablen kombiniert. Beispielsweise kann ein rotes Gebäude mit Transparenz versehen werden. Hingegen ist es nicht möglich, einer Linie eine Textur anzuheften. Die elementbezogenen Gestaltungsmechanismen gliedern sich in Material, Oberflächenmuster, Textur, Transparenz, Orientierung und Animation und sollen folgend angeführt werden.

4.2.2.2.1 Material

Der Mechanismus Material dient dazu, 3D Elementen über ihre Oberflächeneigenschaften ein „natürliches Aussehen“ zu ermöglichen. Grundsätzlich wird mit dem Material das Erscheinungsbild des Elementes gestaltet, wobei physikalische Phänomene simuliert werden. Physikalische Phänomene bezeichnen in Bezug auf Material die Interaktion der Oberfläche mit der Beleuchtungssituation. Der Mechanismus des Materials beeinflusst demnach die Farbe und Helligkeit des Elementes. Der Materialmechanismus besteht aus den Komponenten Reflexion, Refraktion und Ausstrahlungseigenschaften.

Die *Reflexion* definiert, wie und ob das Element eintreffendes Licht reflektiert. Die Eigenschaften der Reflexion werden für die drei Primärfarben (Rot, Grün, Blau) festgelegt. Damit werden Spiegelungen und Glanzeffekte, die durch Lichtquellen und/oder benachbarte Objekte hervorgerufen werden, gelenkt und fallen den Einstellungen der Reflexion entsprechend stark aus.

Die *Refraktion* beschreibt die Lichtbrechung, sodass verschiedene spektrale Lichtphänomene und Verzerrungen imitiert werden. Es wird also die Fortpflanzung des Lichtes durch das Element bestimmt. Dies setzt einen gewissen Grad an Transparenz voraus. Gemeinsam mit der Fortpflanzungsrichtung und der Absorption wird der Weg des Lichtstrahls beschrieben.

Die *Abstrahlungscharakteristik* beschreibt zusätzlich zur Reflexion, in welche Richtungen die Oberfläche eines Elementes das Licht reflektiert. Je nach Eigenschaft wird damit die Rauigkeit der Oberfläche bestimmt. So kann die Oberfläche matt, spiegelnd oder glatt wirken.

4.2.2.2.2 Textur

Mit dem Mechanismus Textur wird die Oberfläche eines Elementes mit einem Bild, Muster oder Struktur versehen. Somit werden spezifische Eigenschaften der Elementoberfläche ausgedrückt [Suter 1997]. Grundsätzlich verändert die Textur die grafischen Variablen nicht, sondern verwendet diese im grafischen oder strukturellen Sinn. D.h., im grafischen Sinn werden Farben, Muster oder Bilder aufgetragen, im strukturellen Sinn wird die Oberflächenstruktur scheinbar verändert (bspw. Bump Mapping oder Displacement Mapping). Die Textur besteht aus den Variablen Musterobjekt, Disposition und Regelmäßigkeit der Disposition [Terribilini 2001]. Ergänzend wird die Oberflächenmusterung der Textur zugeordnet.

Das *Musterobjekt* bezeichnet sowohl ein bildhaftes als auch geometrisches Element, das sich wiederum durch Gestaltungsmechanismen verändern lässt. Es handelt sich also um eine Verschachtelung von Informationsmitteln, wenn auf einem Element ein anderes Element als Textur aufgetragen wird.

Die Variable *Disposition* definiert die Platzierung einzelner Musterobjekte auf einem Element. Mit dieser Variable kann ein lokales Koordinatensystem definiert werden, mit dem eine präzise Position eines Musterobjektes festgelegt wird. Ebenso wird mit dieser Variable Disposition die Projektionsart eines Musterobjektes auf dem Element bestimmt (sphärisch, zylindrisch, …).

Die *Regelmäßigkeit der Disposition* legt die Abfolge, Häufigkeit und Genauigkeit der Musterobjekte fest, wobei auch die Genauigkeit der Dispositionen berücksichtigt werden kann.

Das *Oberflächenmuster* ist eine regelmäßige grafische Textur, die der Oberfläche eines Elementes zugeordnet wird, indem es ein Musterobjekt und die Regelmäßigkeit der Disposition verwendet. Sobald Muster aus Musterobjekten generiert werden, ist deren perzeptive Erfassbarkeit auf dem Übertragungsmedium zu berücksichtigen. D.h., damit ein Texturinhalt bei der Oberflächenmusterung erkannt werden kann, sollte dessen Auflösung der semiotischen Richtgröße folgen. Oberflächenmuster werden vielfach eingesetzt, um Materialeigenschaften zu verstärken. Beispielsweise können mit dem entsprechenden strukturellen Oberflächenmuster als Stein- oder Erdtextur (in Form von Bump Mapping) die Materialeigenschaften als Stein oder Erde eines Elementes massiv gestützt werden.

4.2.2.2.3 Transparenz

Der Mechanismus der Transparenz steuert die Durchsichtigkeit eines Elementes. Erst mit der Computergrafik wurde dieser Mechanismus ermöglicht und kann in sämtlichen digitalen kartografischen Anwendungen verwendet werden (2D und 3D). Die Transparenz hat aber massive Auswirkungen auf die grafischen Variablen und anderen elementweisen Gestaltungsmechanismen. Ihr Vorteil liegt in der visuellen Kombination von Elementen, um die Verdeckung bis zu einem bestimmten Grad zu beseitigen. In Kombination mit Materialeigenschaften und Texturen ermöglicht die Transparenz die Simulation von durchsichtigen Elementteilen, wie Glasfenster oder Ähnliches. Die Variation der Transparenz reicht von keiner Transparenz, also opak, bis zu voller Transparenz, also durchsichtig.

4.2.2.2.4 Orientierung

Der Mechanismus Orientierung spielt generell für die Ausrichtung von positionsbezogenen Symbolen eine bedeutende Rolle. Nachdem jedes Element in einem eigenen Bezugssystem definiert werden kann, spiegelt die Orientierung die Ausrichtung des lokalen Element-Bezugssystems im globalen System der virtuellen 3D Umgebung wider. Dafür wird es notwendig, eine vertikale und horizontale Hauptrichtung zu definieren, die eine vertikale Idealebene aufspannen [Terribilini 2001]. Befindet sich die Kamera in dieser Idealebene, erscheint das Element unter optimalen Bedingungen – die semantischen Charakteristiken des Elementes sind gut erkennbar und vermitteln ein charakteristisches Bild des Elementes. Die Orientierung kann dabei absolut oder relativ zu einem anderen Element oder Kamera ausgerichtet sein. Beispielsweise liefert die relative Ausrichtung von Billboards (texturierte Ebenen) zur Kamera immer die frontale Ansicht der Textur, unabhängig von der Position der Kamera. Die Orientierung setzt sich aus den Variablen der horizontalen und vertikalen Orientierung sowie der Regelmäßigkeit, die die Genauigkeit der Orientierung beschreibt, zusammen.

4.2.2.3 Grafische Variablen in 3D

Die grafischen Variablen sind die Kernkomponenten für die grafische Gestaltung. Mit Form, Größe, Farbe, Helligkeit und Muster beinhalten sie alle Komponenten, die visuelle Wahrnehmungsreize auslösen und so zur Verarbeitung im Gehirn führen. Nach Bertin (1974), Spiess (1991) und Hake/Grünreich (1994) beinhalten die grafischen Variablen weiters das Korn, die Rasterweite und den Rasterwinkel. Für den Autor sind diese Variablen als Medieneigenschaften bzw. Eigenschaften des Herstellungsprozesses einzustufen und dementsprechend bei der Formulierung einer semiotischen Richtgröße und Eindeutigkeitsbeziehung zu berücksichtigen. Korn, Rasterweite, Rasterwinkel, Pitchabstand, Pixeldichte usw. spezifizieren das Übertragungsmedium und sollen daher als geomedientechnische Variablen betrachtet werden. Für dreidimensionale Elemente führt Häberling (2003) den Begriff der „Gestaltungsaspekte“ ein, ergänzt somit die grafischen Variablen und versucht eine Gruppierung von grafischen Variablen nach bestimmten Kriterien [Häberling 2001]. In dieser Arbeit werden die grafischen Kernkomponenten nicht mit weiteren Aspekten erweitert, sondern wurden als globale und elementweise Gestaltungsmechanismen vorangehend eingeführt. Diese Nutzung der Gestaltungsmechanismen ist von den technischen Voraussetzungen abhängig. Im Fall von 3D Karten von den Fähigkeiten der Computergrafik. Hingegen bilden die grafischen Kernkomponenten für den menschlichen visuellen Wahrnehmungsapparat Grundgrößen, die direkt (in V1, V2, V4; siehe Abschnitt 2.3.3) differenziert werden können. Bertin (1982) bezeichnet die grafischen Variablen Muster, Farbe, Richtung und Form als trennende Variablen. Diese geben jedem Faktor die gleiche Sichtbarkeit und sind daher assoziativ. Werden sie mit den weiteren grafischen Variablen Größe und Helligkeit kombiniert, dann verändern sich die Eigenschaften von Größe und Helligkeitswert nicht.

Nach Spiess (1991) bezeichnen grafische Variablen „eine Abfolge von Kartenzeichen, welche sich voneinander nur durch die Variation einer einzigen Charakteristik unterscheiden“ [Spiess 1991]. Die korrekte Auswahl der grafischen Variablen ist von großer Wichtigkeit, da dadurch eine spontan richtige Informationsaufnahme unterstützt wird. Zumindest soll eine falsche Interpretation von Informationen verhindert werden. Demnach ist mit den grafischen Variablen eine semantische Interpretation zu stützen. Beispielsweise wird für Gewässer die grafische Variable Farbe Blau oder für Vegetation die Farbe Grün eingesetzt werden, um eine richtige Assoziation hervorzurufen.

Variable	Eigenschaften A	S	O	Q	darstellbares Skalierungsniveau
Größe	—	●	●	●	metrisch
Helligkeit	—	●	●	—	ordinal
Muster (Korn)	●	●	●	—	ordinal
Farbe	●	●	—	—	nominal
Richtung	●	●	—	—	nominal
Form	●	—	—	—	nominal

Erläuterung:
A - assoziativ; S - selektiv; O - geordnet; Q - quantitativ
● - graphische Variable besitzt diese Eigenschaft
— - graphische Variable besitzt diese Eigenschaft nicht

Abb. 4-21: Eigenschaften graphischer Variablen; Karsten Hoffmann (2005), Entwurf nach BERTIN 1974.

Im Folgenden werden die Kernkomponenten der grafischen Gestaltung detailliert angeführt und abschließend tabellarisch den Gestaltungsmechanismen gegenübergestellt. Dadurch kann der Einfluss der Gestaltungsmechanismen auf die Kernkomponenten aufgezeigt und beschrieben werden.

4.2.2.3.1 Form

Die Form beschreibt die äußere Hülle eines Elementes, die dessen Charakteristik zeigt und mit ihrer Detaillierung einen Abstraktionsgrad vorgibt. Je nach Abstraktionsgrad wird die Form des natürlichen Objektes vom repräsentierenden Element abweichen. Grundsätzlich wird jede virtuelle Reproduktion eines Objektes abstrahiert wiedergegeben, da nicht jedes kleinste Detail aufgenommen und dann wieder abgebildet werden kann. Vielmehr werden aus der Sicht der Geo-Medientechnik Abstraktionsgrade benötigt, die ein Element semantisch richtig charakterisieren und unmissverständlich dem natürlichen Objekt zuordnen lassen.

Die Variation der Form ist grenzenlos. Es ergibt sich eher das Problem, die Charakteristik der Form über alle Abstraktionsgrade und Generalisierungsmaßnahmen hinweg aufrechtzuerhalten [Sänger 2000, Dobler 2001]. Letztlich führt eine sehr hohe Abstraktion zu Primitiven, die sich als sehr abstrakte Symbole präsentieren.

Die Form der Kartenelemente in 3D hängt von unterschiedlichsten Kriterien ab. Sie verändert sich mit variierenden Betrachtungsvariablen, perspektiven Verzerrungen, Abstraktions- bzw. Generalisierungsgraden oder entsprechend der Elementdichte. Eine hohe Elementdichte gleicher Klasse führt zur Aggregation für entsprechende Maßstabsbereiche und verändert damit die grundlegende Form. Um die semantisch maßgebliche Form zu erhalten, kann beispielsweise die Ausrichtung des entsprechenden Elementes zur Kamera (mit dessen vertikaler und horizontaler Hauptrichtung der Orientierung) angedacht werden. Die Orientierung des Elementes wird dann bei verändernden Betrachtungsvariablen oder perspektiven Verzerrungen zu einem Parameter für den Bestand der Form.

Im Bereich der 3D Stadtmodelle haben sich für die Form/Geometrie fünf Abstraktionsgrade etabliert [CityGML 2007]. Diese so genannten Level of Detail (LoD) reichen von LoD0 bis LoD4. Dabei beschreibt

LoD0 ein Regionalmodell, das ein 2,5D Geländemodell mit Luftbildtextur/Karte verwendet,

LoD1 ein Blockmodell, das extrudierte Grundrisse darstellt,

LoD2 ein 3D Modell, das die Außenhülle samt Dachstrukturen und einfachen Texturen wiedergibt,

LoD3 ein Architekturmodell, das das Gebäudemodell mit detaillierter Textur zeigt, und

LoD4 ein Innenraummodell, welches das Gebäude inklusive der Geschosse, Inneneinrichtung und Texturen darstellt.

Andere LoD Konzepte kategorisieren mit mehreren Blockmodell-Abstraktionen, sodass feinere Abstufungen innerhalb des Blockmodells (zusammengefasste Blocks, einzelne Blocks und Blocks mit sehr einfachen Dachstrukturen) zugelassen werden [Thiemann 2003]. Die Konzepte der Formvereinfachung berücksichtigen bislang nicht die Anforderungen der Übertragungsmedien/der Mindestgrößen, sondern liefern lediglich Geometrievereinfachungen.

Nach Terribilini (2001) verfügt die Form über die Variablen Geometrie, Bezugspunkt, vertikale und horizontale Hauptrichtung. Die *Geometrie* ist die dreidimensionale Beschreibung der Form des Elementes, wobei Kanten-, Flächen- und Volumenmodelle eingesetzt werden. Der *Bezugspunkt* beschreibt den Referenzpunkt des Elementes für die Positionierung im virtuellen Raum, wobei dieser auch Bezugspunkt für das elementweise Bezugssystem sein kann. Die vertikale und horizontale Hauptrichtung des elementweise definierten Bezugssystems berücksichtigt den optimalen Blickwinkel für die Erkennung der Form eines Elementes [Sieber 1996].

4.2.2.3.2 Größe

Die grafische Variable Größe dient in der Kartografie gerne als quantitatives Ausdrucksmittel, wobei sie besonders auf positionsbezogene und linienhafte Elemente angewendet wird. In der 3D Kartografie wird unter der Variable Größe die metrische Dimension der Länge, Breite und Höhe von 2D und 3D Formen als auch die Breite linearer Symbole verstanden [Häberling 2001]. Prinzipiell kann die Größe in 3D auf dieselbe Weise eingesetzt werden wie in der 2D Kartographie, wobei sie um die dritte Dimension erweitert wird. Allerdings ergeben sich gewisse Einschränkungen auf Grund der psychologischen Tiefenwahrnehmung und der intuitiven Vermittlung der Rauminformation [Maaß 2007-A].

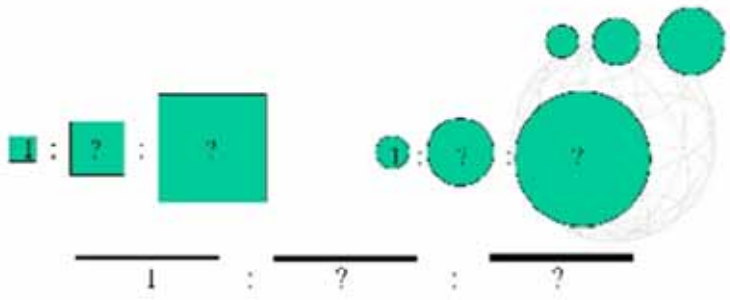


Abb. 4-22: Beispiele zur Schätzgenauigkeit der Variable Größe.

Die Variable Größe unterliegt für eine intuitive Raumvermittlung den perspektiven Eigenschaften und der natürlichen Raumpositionierung (zu starke Veränderungen der Positionierung, damit eine Elementdimension vergrößert werden kann, verändern auch die räumliche Relation und meist auch die Topologie der Elemente). Werden Elemente ungeachtet der perspektiven Eigenschaften nach quantitativen Informationen verändert und in der 3D Karte verwendet, entstehen in der Regel Widersprüche zum Grundsatz der Größenkonstanz. Die menschliche Erwartungshaltung in einer zentralperspektiven Darstellung, dass die Elemente mit wachsender Entfernung kleiner dargestellt werden, kann durch die Darstellung einer quantitativen Information mit diesen Elementen nicht unterstützt werden. Beispielsweise werden in der 3D Ansicht Gebäude mit wachsender Kameradistanz kleiner dargestellt. Wenn diese Elemente den jährlichen Wasserverbrauch des Haushaltes symbolisieren, dann wird ihre Größe grundsätzlich nicht den

perspektiven Verkleinerungen folgen. Entweder bleibt die perspektive Verzerrung erhalten und die Elemente sind nicht direkt vergleichbar, oder die Elemente bleiben direkt vergleichbar und beeinflussen die Raumwahrnehmung negativ. Mögliche Lösungen wurden mit den Variationen der Perspektive angeführt, wenn darin Maßstabsbereiche für Elementklassifizierung oder Parallelperspektiven ohne Elementverzerrung verwendet werden.

Hinsichtlich der Mindestgröße gemäß dem Übertragungsmedium kann ein Schwellwert (semiotische Richtgröße) festgelegt werden, sodass kein dargestelltes Element unter diese Schwelle fällt. Nachdem Elemente im Hintergrund einer 3D Ansicht für Richtungsrelationen bedeutend sind [Bay 2008], wird es notwendig, die Größe bis zu einem gewissen Maß zu erhalten, die Elemente zu vergrößern, sodass diese nicht sofort weggelassen werden. Es bilden sich demnach zwei Maßstabsreihen: eine Maßstabsreihe entspricht der perspektiven Linearität, die zweite bildet die Darstellungsreihe, die vom maximalen Maßstab bis zur perzeptiven Mindestgröße der vergrößerten Elemente reicht. Dabei entspricht die Größenänderung der Elemente zwar nicht der perspektiven Linearität, kann aber durch die eigene Maßstabsreihe den Tiefeneindruck aufrechterhalten.

Die grafische Variable Größe in 3D bringt die Parameter Skalierung und Regelmäßigkeit mit sich [Terribilini 2001]. Die *Skalierung* beschreibt, nach welchen Regeln die Elemente in den drei Hauptrichtungen (x,y,z) skaliert werden müssen, um ihre quantitative Aussage zu befördern oder aber sich nur den globalen Betrachtungsvariablen folgend zu verändern. Die *Regelmäßigkeit* beschreibt die Genauigkeit der Skalierung. Damit können Unregelmäßigkeiten in der Skalierung von Elementen eingeführt werden (bspw. semiotische Maßstabsreihen).

4.2.2.3.3 Farbe

Farbe ist nach der Form und Größe die bedeutendste grafische Variable für die visuelle kognitive Verarbeitung und gilt als eines der wichtigsten Unterscheidungsmerkmale zwischen Elementen. Diese Variable wird besonders für qualitative Differenzierungen eingesetzt [Spiess 1996], indem meist ganze Elemente oder Elementteile gleicher Qualität homogen mit einem Farbton versehen werden. Dabei ist es für den kartografischen Einsatz bedeutend, die semantische Erwartung eines Betrachters zu berücksichtigen (Gewässer als Blau, Vegetation als Grün kodiert) [Grosser/Schoppmeyer 2001]. Farbe bietet demnach eine sehr gute Selektivität, die allerdings nicht absolut ist. Farbe kann nicht einen Absolutwert darstellen, da sie aus der Interpretation von Reizen auf der Netzhaut resultiert.

Bei der Variable Farbe wird der Farbton und der Farbverlauf variiert. Der *Farbton* ergibt sich aus der anteiligen Mischung der drei Grundkomponenten eines Farbmodells bzw. Farbraumes (z.B. RGB, CMY oder LAB) entsprechend dem verwendeten Übertragungsmedium. So wird für Displays die additive Farbmischung mit dem RGB Modell durchgeführt, bei dem sich die resultierende Farbe aus dem roten, grünen und blauen Anteil der Bildschirmpunkte ergibt (vgl. Abschnitt 3.1). Der *Farbverlauf* bildet einen stufenlosen Übergang von einem Farbton zum nächsten. Diese homogenen Farbverläufe über mehrere Farbtöne hinweg lassen sich leicht computergrafisch berechnen [Foley 1994] und werden gerne für eine homogene Informationsvermittlung (z.B. von Höhen, Messpunkten, ...) eingesetzt.

4.2.2.3.4 Helligkeit

Die Variable Helligkeit definiert das Verhältnis von schwarzen und weißen Teilen in einer Fläche. So dominieren in einer hellen Farbe die weißen Teile. Mit der Variation der Helligkeit wird die Sättigung der Farbe beeinflusst. Grundsätzlich übertrifft die Wahrnehmung von Helligkeitswerten die Wahrnehmung der Farben. Beispielsweise werden die Farben Blau und Rot mit gleichem Helligkeitswert zunächst als ähnlich und erst in einem zweiten Wahrnehmungsschritt als different aufgefasst. Der Helligkeitswert

dient somit einer visuellen Ordnung. Da Farben mit gleichem Helligkeitswert nicht geordnet werden können und so auch keine geordnete Information wiedergeben können, wird ein Helligkeitswert benötigt, um visuelle Ordnungen zu erstellen [Bertin 1982]. Die Helligkeit als Ordnungsprinzip steht ähnlich wie die Größe im Widerspruch mit der intuitiven Raumwahrnehmung in 3D, da die Auswirkung der Luftperspektive eine Helligkeitsveränderung verwendet.

Die Helligkeit wird mit der Graustufe und der Farbhelligkeit variiert [Häberling 2003]. Die *Graustufe* beschreibt das Verhältnis zwischen Schwarz- und Weißanteil. Mit der Farbhelligkeit wird ausgedrückt, dass jeder Farbton einen Wert aus dem ganzen Helligkeitspektrum der Grauskala annehmen kann.

4.2.2.3.5 Muster

Das Muster entspricht der Verwendung einer vorgegebenen Struktur als Texturierung, Füllung oder Linienstil eines Elementes. Die Variation des Musters ist von der spezifischen Form und Struktur des Musters unabhängig, denn die Variation des Musters verändert nicht die Sichtbarkeit. Gegensätzlich zur Größe, wo eine Variation auch die Sichtbarkeit beeinflusst (Element wird zu klein), bleibt das Muster für einen bestimmten Maßstab konstant. In der 3D Ansicht müssen wieder zwei Ansätze untersucht werden: Wird das Muster mit wachsender Entfernung perspektivisch adaptiert, ist seine perzeptive Größe zu erhalten. Bleibt der Musterinhalt in konstanter Größe, so kann die Störung der Tiefenwahrnehmung erwartet werden. Die Untersuchung dieser Fragestellungen ist nicht Gegenstand dieser Arbeit und wird zukünftige Arbeitsschwerpunkte bilden.

Grundsätzlich ist das Muster selektiv, denn es trennt Flächen und Linien mit gleicher Sichtbarkeit [Bertin 1982, S. 215]. Es kann in den drei selektiven Stufen Transparenz, Assoziativität und Ordnung verwendet werden. Mit *Transparenz* ist ein Teil des Musters durchsichtig und lässt damit Überlagerungen mit anderen Elementen zu. Sehr leicht können damit verwirrende Darstellungen entstehen. Das assoziative Muster trennt bei gleicher Sichtbarkeit durch Simulation einer Helligkeit zwei Skalen. Mit dieser Trennung der Skalen wird das geordnete Muster ermöglicht, wobei Faktoren geordnet werden können, ohne einen davon zu benachteiligen.

In 3D wird die besondere Form Oberflächenmuster verwendet, um Materialien von Elementen zu verstärken. Aus diesem Grund ist das Oberflächenmuster als Variable des Gestaltungsmechanismus Textur angeführt und steht in Ergänzung zur grafischen Variable Muster. Die Textur Oberflächenmuster zur Stärkung eines Materials kann durchaus mit einem Muster als zusätzliche Informationskomponente kombiniert werden.

4.2.2.3.6 Gegenüberstellung grafischer Variablen mit Gestaltungsmechanismen

Die Kernkomponenten der grafischen Gestaltung führen zu einem visuell erfassbaren Ergebnis auf dem Übertragungsmedium. In der 2D Kartografie ist ihr Einsatz gut mit den Wirkungen und gegenseitigen Einflüssen definiert und beschrieben [Bertin 1982, Spiess 1996, Hake 1994, Brunner 2000]. Mit der dynamischen 3D Karte und ihrer Anforderung der intuitiven raumbasierten Informationsvermittlung entstehen Konflikte bzw. weitere Abhängigkeiten in der grafischen Darstellung. Im Speziellen sind dies die Einflüsse der globalen und elementweisen Gestaltungsmechanismen auf die Kernkomponenten der grafischen Gestaltung. Aus diesem Grund wird folgend eine tabellarische Gegenüberstellung der grafischen Kernkomponenten und der Gestaltungsmechanismen angeführt.

Tabelle 4-A: Gegenüberstellung der grafischen Kernkomponenten und der Gestaltungsmechanismen

	A.Form	***B.Größe***	***C.Farbe***	***D.Helligkeit***	***E.Muster***
Globale Gestaltungsmechanismen					
1.Beleuchtung			C1	D1	
2.Schattierung	A2		C2	D2	E2
3.Atmosphäre			C3	D3	
4.Tiefenschärfe		B4			
Elementweise Gestaltungsmechanismen					
5.Material	A5	B5	C5	D5	E5
6.Textur					E6
7.Transparenz			C7	D7	E7
8.Orientierung	A8				

A2: Die Schattierung beeinflusst die Form, wenn durch eine „harte“ Schattierung die Formwahrnehmung beeinträchtigt wird. Durch scharf abgegrenzte Übergänge von Beschattung auf nicht Schatten ist die Verwechselung zwischen Elementteil und Schatten wahrscheinlich. Besonders dann, wenn die Schattendefinition das komplette Grauwertspektrum (von Weiß bis Schwarz) benutzt, kommt es in den dunklen Bereichen wegen der Undifferenzierbarkeit zu Wahrnehmungsstörungen.

A5: Das Material beeinflusst die Form, besonders dann, wenn in der Materialdefinition „bump-mapping“ oder „displacement mapping“ verwendet und damit die Geometrie des Elementes scheinbar verändert wird. Zusätzlich können bildliche reguläre oder irreguläre Muster auf die Wahrnehmung der Form wirken, wenn dunkle Stellen des Musters als Schatten interpretiert werden.

A8: Die Orientierung beeinflusst die Form, da die Formwahrnehmung besonders von der erfassbaren Silhouette abhängt. Ändert sich die Orientierung, wird auch die Silhouette verändert. Damit verändert sich auch die wahrnehmbare Charakteristik des Elementes. In manchen Fällen kann es notwendig sein, die Elemente nach ihrer Charakteristik auszurichten, um bestmögliche Referenzen zu schaffen. Mit der horizontalen Hauptrichtung [Terribilini 2001] wird das Maximum der Elementcharakteristik festgelegt.

B4: Die Tiefenschärfe beeinflusst die Größe, da mit wachsender Unschärfe die Größe nicht sicher abgelesen, sondern nur abgeschätzt werden kann. Die unscharfe Silhouette verhindert die direkte, konkrete und unmissverständliche Zuordnung einer Größe, obwohl der menschliche Wahrnehmungsapparat, den Gestaltungssätzen folgend, mit vergleichenden Elementen die Unschärfe abschwächen kann.

B5: Das Material beeinflusst die Größe, da mit „bump-mapping“ und „displacement-mapping“ Verfahren die Geometrie scheinbar verändert wird. Mit dieser „Verzerrung“ im Renderingprozess, in dem die Knoten nach Helligkeitswerten verschoben werden, wird die Größe spezifisch stark beeinflusst.

C1: Die Beleuchtung beeinflusst die Farbe durch die Helligkeitsverteilung, die Reaktion der Oberfläche auf die Beleuchtung und die Kombination der Beleuchtungsfarbe mit dem Element. Die Helligkeitsverteilung wirkt auf die Sättigung der Farbe ein: heller beleuchtete Stellen werden ungesättigter, während weniger beleuchtete Stellen bis zu einem gewissen Grad gesättigter erscheinen werden. Die Reaktion der Oberfläche auf die Beleuchtung beschreibt den Sättigungsgradienten der Oberflächenfarbe im Zusammenspiel mit der Beleuchtungssituation (Spot- oder Punktlichter vs. globale Illumination mit „weichem“ Licht). Die Farbe der Beleuchtung reagiert mit der Oberflächenfarbe des Elementes und resultiert durch Farbaddition in der kombinierten Farbe.

C2: Die Schattierung beeinflusst die Farbe, da damit die Sättigung und Helligkeit der ursprünglichen Elementfarbe verändert wird. Der Einfluss des Schattens kann so intensiv definiert werden, dass eine spezifische Farbe in Kombination mit der Beleuchtung von Weiß bis Schwarz verändert werden kann. Ebenso verändert sich durch diese Helligkeitsvariation die Sättigung der Elementfarbe.

C3: Die Atmosphäre beeinflusst die Farbe durch ihre Simulation von Dunst, die die Helligkeit der Farben mit wachsender Kameradistanz erhöht und die Farbsättigung mindert. Die Auswirkungen der Simulation beschreiben direkt die Einflüsse der Atmosphäre auf die Farbe.

C5: Das Material/Oberflächentextur beeinflusst die Farbe, wenn durch Texturüberlagerung die Elementfarbe mit Material- oder Texturdefinitionen kombiniert wird. Beispielsweise kann eine einfärbig rote Kugel mit „marmorierender“ Textur kombiniert werden, um eine rote Marmorkugel zu imitieren. Die rote Farbe wird dann gemäß der Marmorierung in ihrer Sättigung und Helligkeit variieren.

C7: Die Transparenz beeinflusst die Farbe, da durch die Durchsichtigkeit die Farbe abgeschwächt wird und Überlagerungen sichtbar werden. So addieren sich zwei 30%ig transparente Farbflächen zu einer 60%igen Fläche, die damit auch eine andere Sättigung und Helligkeit aufweist. Die eindeutige Farbzuordnung wird dadurch erschwert.

D1: Die Beleuchtung beeinflusst die Helligkeit, da eine Helligkeitsänderung besonders auf der direkten Auswirkung der einwirkenden Beleuchtung basiert. Würde sich die Helligkeit nicht mit der Beleuchtung ändern, also auch keine Grundfarbe/-beleuchtung definiert sein, dann wäre das gerenderte Bild schwarz. Licht ist eine Grundvoraussetzung in 3D.

D2: Die Schattierung beeinflusst die Helligkeit, da ein Schatten über den Einsatz von Grauwerten definiert wird. Durch das Addieren der Grauwerte gemäß der Beleuchtung ergibt sich die Schattensituation.

D3: Die Atmosphäre beeinflusst die Helligkeit, da die Helligkeitssteigerung mit wachsender Kameradistanz die atmosphärische Wirkung simuliert.

D5: Das Material/Oberflächentextur beeinflusst die Helligkeit, wenn entweder Schattierungen hervorgerufen /simuliert werden oder additive Kombinationen von Texturen in neuen Helligkeitswerten resultieren.

D7: Die Transparenz beeinflusst die Helligkeit, da mit der Transparenz die Reflexivität der Oberfläche gemindert oder zumindest verändert wird. Die Farbaddition transparenter Flächen führt zusätzlich zur Veränderung der Helligkeit.

E2: Die Schattierung beeinflusst das Muster, wenn sich die Schattendefinition nicht mehr vom Muster unterscheiden lässt. Ist also die Schattenwirkung so stark, dass diese in ähnlichen Grauwerten wie das Muster resultiert, dann können weder Schatten noch Muster perzeptiv differenziert werden. Der Schattenwurf beeinflusst damit das Muster.

E5: Das Material beeinflusst das Muster, da mit „bump-mapping“ und „displacement-mapping“ Verfahren die Geometrie scheinbar verändert und die Schattierung beeinflusst wird. Etabliert sich als Materialdefinition ein Schatten, führt dies wieder zur Einwirkung auf das Muster.

E6: Die Textur beeinflusst das Muster, da es sich dabei um eine texturelle Kombination handelt. Sowohl Textur als auch Muster werden auf der Elementoberfläche vereint. Die Kombination, die beispielsweise als Addition der einzelnen Vorlagen durchgeführt werden kann, resultiert in einem neuartigen Muster.

E7: Die Transparenz beeinflusst das Muster, da mit der Transparenz durchsichtige Stellen im Muster definiert werden können. Dadurch ergeben sich Kombinationsmöglichkeiten, die in neuen Mustern resultieren.

4.2.2.4 Grafische Elemente in 3D

Das grafische Kartenelement erlaubt eine weitere Strukturierung der 3D Karte. Ähnlich der traditionellen grafischen Semiologie können die Kartenelemente in punkt-, linien- und flächenförmig eingeteilt werden. Ergänzungsbedarf besteht für volumenförmige 3D Elemente.

Zusätzliche Anstrengungen erfordert die grafische Umsetzung als echtes 3D Element oder texturierendes Element in der 3D Karte. Beispielsweise können Beschriftungen als unausgerichtete Textur auf Elementen oft nicht gelesen werden (besonders bei Aufriss- und Schrägriss-Situationen). Lösungsansätze finden sich bei Gebäudebeschriftungen mit „Billboards“ (Bildtafeln) [Maaß 2006]. Die Grundsatzfrage, Textur oder 3D Kartenelement, erscheint für jede Art des Kartenelements notwendig und muss situationsbedingt im virtuellen 3D Umfeld gelöst werden. Ein Punktelement kann als texturierter Punkt eingetragen werden. Dieser wird je nach Geländeneigung oder Blickrichtung sichtbar oder nicht wahrnehmbar sein. Wird diese punktförmige Information mit einer Kugel eines gewissen Durchmessers visualisiert, ist diese weiter über das Geländemodell sichtbar. Ähnliche Überlegungen gelten für Linien, die die Eigenständigkeit als 3D Element beispielsweise bei Flussüberquerungen notwendig erscheinen lassen. Nur dann ist eine Trennung von Geländemodell und Element möglich. Anschließend werden die grafischen Elemente in 3D angeführt. Anhand des adaptierten Formelapparates von Terribilini (2001) soll die eindeutige Sichtbarkeit des Elementes auf dem Übertragungsmedium formalisiert werden.

4.2.2.4.1 Punkt

Der Punkt als Kartenelement markiert die Lage eines Objektes. Meist wird der Punkt in Kombination mit weiteren Signaturen eingesetzt, um die Bedeutung des Realobjektes an dieser Position zu definieren. Die perzeptive Erfassbarkeit fordert einen Mindestdurchmesser des Punktes, der den Eigenschaften des Übertragungsmediums folgt (vgl. Abschnitt 3.1). In 3D Karten wird der Punkt wegen der Perspektive deformiert. Die Einhaltung der Mindestdimensionen wird durch diese perspektive Verzerrung, aber auch wegen der Maßstabsanzahl, erschwert. Die Sichtbarhaltung eines Punktes folgt seiner grafischen Wichtigkeit (ist es für die Karte wichtig, den Punkt sichtbar zu haben) und sollte dann in seiner eigenen Maßstabsfolge, die die Tiefenwahrnehmung kaum beeinflusst, eingebettet werden. Beim Punkt werden seine Farbe, Helligkeit und Größe variiert.

4.2.2.4.2 Linie

Linien geben als „topologisch“ ununterbrochene Striche eine Lage an. Grafische „Unterbrechungen“ können als Muster eine Variation ausdrücken. Sie dienen einerseits zur Abgrenzung von Elementen, andererseits als Mittellinie von Objekten oder Verbindung von Punkten gleichen Informationswertes (Isolinien). Die Linie unterliegt ebenso einer perzeptiven Mindestdimension entsprechend dem Übertragungsmedium, die wegen perspektiver Einflüsse deformiert wird. Die Besonderheit bei der Linie liegt in der Verbindung zweier Punkte, sodass durch diese Relation perspektive Einflüsse zwischen den Punkten direkt erkannt werden können. Die Linie wird mit ihrer Farbe, Helligkeit, Breite und dem Muster variiert.

4.2.2.4.3 Fläche

Die Fläche bildet Regionen konstanten Wertes, sodass die Zuweisung eines einzigen grafischen Wertes gerechtfertigt ist. Sie drücken die Lage und Qualität flächenhafter Diskreta, flächenbezogene Quantitäten und Wertestufen eines Kontinuums aus, wobei ihre Kodierung in Kombination mit Signaturen (Muster) erfolgen kann. In 3D Karten unterliegt die Fläche den globalen und elementweisen Gestaltungsmechanismen: Die Form des Elementes in Kombination mit der Beleuchtung und dem Schattenwurf, aber auch die Textur, Materialeigenschaften oder Transparenz, wirken auf die Farbe und Helligkeit der Fläche und erschweren die eindeutige Dekodierung. Der Farb- und Helligkeitsspielraum der Informationsaussage ver-

kleinert sich durch den Einfluss des Schattens. Diese Vergrößerung der Farb- und Helligkeitsklassen ist in der Kodierung zu berücksichtigen. Die Fläche variiert mit ihrer Form, Farbe, Helligkeit und dem Muster.

4.2.2.4.4 3D Element/Volumen

Das 3D Element oder Volumen setzt sich aus mehreren Flächen zusammen. Damit können mit diesem Element abstrahierte Objektbilder oder sogar konventionelle Zeichen geschaffen werden. Diese erlauben dann eine qualitative und Lageangabe. Das 3D Element wird nach seiner Form (bildhaft, abstrakt, Ziffern, ...) und Anordnung (lokal, linear, ...) kategorisiert. Das 3D Element ändert grundsätzlich seine Form, wenn sich die Betrachtungsrichtung ändert. Um die Charakteristik des 3D Elementes aufrechtzuerhalten, kann seine Ausrichtung zur Kamera variiert werden, sodass die Hauptrichtung erkennbar bleibt. Allerdings verändern sich dadurch die visuellen Beziehungen zu Nachbarschaftsobjekten. Das 3D Element variiert mit seiner Form, Größe, Farbe, Helligkeit, Muster, Textur und Orientierung.

4.2.2.4.5 Diagramm

Das Diagramm dient als grafisches Mittel zur Visualisierung von quantitativen Daten, die sich auf eine geografische Lage oder Fläche beziehen. Es verwendet Punkte, Linien, Flächen oder sogar Volumen für seine grafische Aussage. Das Diagramm kann in die Karte als Signatur bzw. 3D Element eingebettet werden oder wird als eigenständige Visualisierung ergänzend zur Karte verwendet. Dann wird diese Grafik als Kartogramm bezeichnet. Das Diagramm variiert mit Größe, Farbe, Helligkeit, Muster, aber auch mit seinem Typ (Punkt-, Linien- oder Flächendiagramm, ...).

4.2.2.4.6 Schrift

Die Beschriftung einer Karte gehört zu den mächtigsten Werkzeugen der kartografischen Informationsgestaltung und bietet die direkte Benennung der eingebetteten Information. Mit dieser erläuternden Ergänzung zu den Kartenelementen können Fehlinterpretationen minimiert werden, wenn die Symbolisierung alleine den Sinn/die Bedeutung nicht vermitteln kann. Dies gilt besonders für nominale Werte, die die Symbole ergänzen. Für den grafischen Aufbau auf der Präsentationsfläche bedeutet die Schrift, dass entsprechender Platz zur Verfügung gestellt werden muss, denn die Schrift soll lesbar sein. In der 2D Kartografie führt diese Anforderung zur Verbreiterung von Elementen, in die Schrift eingebettet ist, zu Verdrängungen oder Aggregationen. In der 3D Karte stört eine unangemessene Schrifteinbettung zusätzlich die Tiefenwahrnehmung. Ihr Einsatz und ihre Platzierung erfordern in 3D einen Kompromiss zwischen Lesbarkeit, intuitiver Tiefenvermittlung und Wertesymbolisierung.

Schrift liefert eine Vielzahl von Gestaltungsmöglichkeiten, die im Fachbereich der Typografie analysiert und bearbeitet werden [Raible 1991, Wehde 2000]. Zu den wichtigsten Variablen der Schrift gehören Schriftart, Schriftgröße, Schriftschnitt oder Schriftsperrung. Die *Schriftart* bestimmt das Schriftbild hinsichtlich seiner generellen Wirkung. Schriften mit Serifen erleichtern das Lesen, indem mit den Serifen eine Zeile angedeutet wird. Bei digitalen Medien liegt die Größe der Serifen unter der Darstellungsauflösung. Somit sollen auf digitalen Medien serifenlose Schriftarten bevorzugt werden, um die Lesbarkeit länger zu erhalten. Die Variation der Schriftart wird gerne für die zusätzliche Symbolisierung von Objektklassen eingesetzt (z.B. Ortschaften, topografische Bezeichnungen, Gewässer, ...). Die *Schriftgröße* soll in der 3D Karte auf jeden Fall so groß bleiben, so dass die Schrift lesbar bleibt. Eine unleserliche Schrift bedeutet falsch eingesetzte Informationspunkte (Pixel) des Übertragungsmediums, da diese Bildpunkte keine Information übertragen können. Die Variation der Schriftgröße für die Lesbarkeit oder Wertesymbolisierung kann zur Beeinträchtigung der Tiefenwahrnehmung führen, wenn Widersprüche zur linearen Perspektivität auftreten. Der *Schriftschnitt* bestimmt die unterschiedlichen Ausprägungen der Schriftart,

die Schriftstärke, Schriftlage und Schriftbreite betreffen. Die Schriftstärke variiert die „Strichstärke“ der Schrift und resultiert in „magerer“, „normaler“ oder „fetter“ Schrift. Die Schriftlage bezeichnet die Neigung der Schrift, die in „stehender“, „kursiver“ oder „rückwärts liegender“ Schrift resultiert. Die Schriftbreite beschreibt die Breite der einzelnen Lettern, die in „schmaler“, „normaler“ oder „breiter“ Schrift resultieren. Die *Schriftsperrung* variiert den Abstand zwischen den einzelnen Lettern und führt so zur „schmalen“, „normalen“ oder „breiten“ Variation.

In der digitalen Kartografie bieten sich unterschiedliche Techniken, um Schrift in der Darstellung einzubetten. So werden immer sichtbare Schriften mit Cursoranzeigen oder Infoboxen bei Interaktivität ergänzt [Häberling 2003]. Cursoranzeigen in Form von kleinen Textfeldern in der Nähe des Mauszeigers werden sichtbar, wenn der Mauszeiger ein Kartenelement berührt oder aktiviert. Ihre Darstellung verschwindet nach der Aktivierung und gibt die Bildpunkte für weitere Informationsübertragungen frei. Infoboxen verhalten sich ebenso in Kombination mit entsprechender Interaktivität und bieten textliche Informationen für einen begrenzten Zeitraum.

Zusätzlich zu den schrifteigenen Variationsmöglichkeiten bilden auch Farbe und Orientierung Variablen für die grafische Gestaltung der Schrift.

4.2.2.5 Ergänzung der Kartenelemente hinsichtlich Eindeutigkeit – die Sichtbarkeit am Medium

Die Gegenüberstellung der grafischen Variablen mit den globalen und elementweisen Gestaltungsmechanismen zeigt deren gegenseitigen Einfluss, der für die kartografische Informationsaufbereitung berücksichtigt werden sollte. Die kartografische Informationsaufbereitung bezeichnet die bewusste Verwendung der grafischen Variablen, um gezielte Aussagen mit der Darstellung zu treffen. So ist beispielsweise der Einsatz von Farbe nicht nur Mittel zum Zweck der Ästhetik, sondern bewusster Träger von Information. Innerhalb der grafischen Parameter stehen die Größe, Richtung und Entfernung der Kartenelemente in 3D in Zusammenhang mit der Auflösung des Übertragungsmediums bzw. unterliegen der semiotischen Richtgröße (der Verbindung des Auflösungsvermögens des Auges und des Übertragungsmediums – Abschnitte 3.1.2 bis 3.1.5). Elemente, deren Kodierung nicht mehr wahrnehmbar ist und die kognitiv nicht mehr zugeordnet werden können, dürfen in der Darstellung weggelassen werden und so ihr „Pixel“ für andere Information zur Verfügung stellen. In den Abschnitten 3.1.2 bis 3.1.5 wurde auf den Zusammenhang zwischen dem Auflösungsvermögen des Auges und des Übertragungsmediums eingegangen. Die Kategorisierung in Informationsträger und Informationsmittel erleichtert die Zuordnung von Qualitäten und perzeptiven Mindestgrößen. Zumindest wird der unlösbare Zusammenhang zwischen dem Informationsmittel und dem Übertragungsmedium (dem Informationsträger) hinsichtlich ihrer Auflösungen erkennbar und beschreibt die Relation von Realität bis zum Informationsmittel, der Rasterisierungsstufe (2D Bildraum).

Andererseits muss die Größe eines Elementes des Modellraumes auf die Größe desselben in der Präsentationsebene des Bildraumes abgebildet werden. Terribilini (2001, S. 75 ff) beschreibt in seiner Arbeit im Teil der Sichtbarkeitsanalyse von 3D Elementen diese Beziehung, die hier angeführt werden soll:

Die Größe eines Elementes auf der Projektionsebene ergibt sich aus der Formel

$$S' = \int_0^S P'\,dS = \frac{1}{M} * \cos y * LV * S \qquad \text{wobei} \quad LV = \sqrt{[(\cos^2\varphi / \cos^2\beta) + (\sin^2\varphi / \cos^4\beta)]} \quad \text{und} \quad M = D / c$$

(4.2.2.5 -1)

S'....resultierende Elementgröße auf der Projektionsebene

S ....Elementgröße

P'....Elementpunkt auf der Projektionsfläche

M....mittlere Darstellungsmaßstabszahl

D....Distanz des Elementes zum Projektionszentrum

c....Brennweite

y....wahre Neigung des Elementes

LV..Längenverzerrungsfunktion in Abhängigkeit der wahren Orientierung des Elementes

φ....wahre Orientierung des Elementes

β....Winkel zwischen Sehstrahl und Blickrichtung

Mit dieser Formel wird die Elementgröße S mit ihrer Orientierung und Distanz vom optischen Apparat und der resultierenden Größe S' auf der Projektionsebene in Beziehung gesetzt. Die mittlere Maßstabszahl M beschreibt die homogene und richtungsabhängige Skalierung des Elementes. Diese richtungsabhängige Skalierung ist durch die Längenverzerrungsfunktion LV und durch die scheinbare Neigung y beschrieben. Beide bewirken die unterschiedliche Darstellungsgröße von unterschiedlich orientierten Elementteilen auf der Projektionsebene, woraus die Deformation der Elementform entsteht. Die Verzerrungen lassen sich für den Fall y=0 durch die Tissotsche Indikatrix beschreiben, da diese Situation einer Abbildung „Fläche auf Fläche“ entspricht.

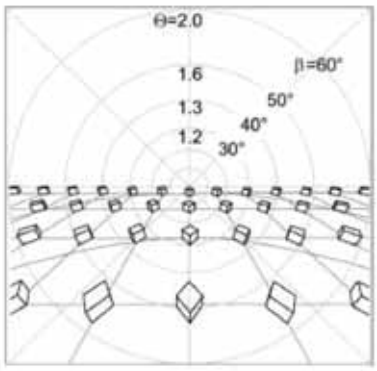


Abb. 4-23: Verzerrungsfunktion und Wirkung von Verzerrungen, Terribilini 2001.

Terribilini (2001, S. 80 ff) legt mit dieser Formel die Bedingung für die Sichtbarkeit von Elementen fest. Er bezeichnet ein Element als unsichtbar, wenn es die minimalen Dimensionen S'_{min} des menschlichen, optischen Wahrnehmungssystems unterschreitet und formuliert folgende Bedingung:

$$1/K = \cos y * LV(\varphi,\beta) \quad \text{wobei} \quad K = S_{min}/M*S'_{min} \qquad (4.2.2.5\text{ -}2)$$

LV ...Längenverzerrungsfunktion

K ...Vergrößerungsfaktor

M ...mittlere Abbildungsmaßstabszahl

S'_{min} ..Auflösung des optischen Apparates

S_{min} ...minimale Elementdimension im Modellraum

Mit dem Parameter K wird laut Terribilini (2001) das Verhältnis zwischen der minimalen Elementdimension im Modellraum und der Auflösung des optischen Apparats beschrieben. Damit soll die Sichtbarkeit eines Elementes festgelegt werden.

Das Modell von Terribilini geht von einer zentralperspektiven Abbildung auf die Präsentationsfläche aus. Damit treten die beschriebenen Verzerrungen des mathematischen Modells auf. In der progressiven oder degressiven Zentral- und Parallelperspektive darf nicht von den gleichen Verzerrungen ausgegangen werden, da diese spezifische Abbildungsvorschriften verwenden. Die Sichtbarkeitsformel ist im Fall der progressiven und degressiven Zentralperspektive nur auf die einzelnen Maßstabszonen anwendbar, da darin die beschriebene perspektive Homogenität herrscht.

Weiters ist es notwendig, neben dem menschlichen optischen Apparat die Auflösung des Übertragungsmediums zu berücksichtigen, damit beim Übergang vom Modellraum (der virtuellen 3D Umgebung) auf die Netzhaut keine Störung durch variierende Auflösungen der unterschiedlichen Übertragungsmedien (PDA, PC- Display, ...) auftritt. Hierfür kann die semiotische Richtgröße (3.1.4-3) als Verhältniswert zwischen der Auflösung des Informationsmittels und Auflösungsvermögen des Auges herangezogen werden.

Demnach führt die Eindeutigkeitsbeziehung (3.1.2-1) in Kombination mit der resultierenden Elementgröße auf der Projektionsebene (auf dem Informationsmittel) (4.2.2.5 -1) zur Elementgröße auf dem Übertragungsmedium durch Berücksichtigung des Eindeutigkeitskoeffizienten k_{im} beim Übergang von Informationsmittel zu Übertragungsmedium.

$$S'' = k_{im} * S' \qquad (4.2.2.5\text{ -3})$$

S''...resultierende Elementgröße auf dem Übertragungsmedium

Die resultierende Elementgröße auf dem Übertragungsmedium gibt keine absolute Zahl wieder, sondern beschreibt relativ zum gewählten Übertragungsmedium die minimale Elementgröße auf dem Informationsträger.

Die Steuerung der grafischen Elemente in 3D wird mit den globalen und elementbezogenen Gestaltungsmechanismen erweitert. Ihr Einfluss auf die grafischen Variablen ist das Resultat ihrer charakteristischen Wirkung. Es ist einleuchtend, dass diese Beziehung für eine kartografische Anwendung berücksichtigt werden muss, um quantitative Informationen eindeutig vermitteln zu können. Diese theoretische Eindeutigkeit bei der wahrnehmung, die für die kartografische Informationsvermittlung gefordert wird, unterliegt in 3D dem Einfluss der psychologischen Verarbeitung des Menschen. Dieser Einfluss der Psychologie soll in dem folgenden Abschnitt erläutert werden.

4.2.3 Einfluss der Psychologie

Bei der 3D Kartografie handelt es sich um einen Prozess vom virtuellen Modellraum bis zum mentalen Modell des Benutzers. Dies bedeutet, dass einerseits die grafischen Variablen und Gestaltungsmechanismen auf das bestehende Wissen des Benutzers zurückgreifen und dieses mit ihrer Kodierung zu erweitern versuchen. Andererseits bildet die virtuelle 3D Umgebung eine umfassende Assoziation mit der Realwelt und greift so auf das ursprüngliche Bezugssystem des Menschen zu. Diese Struktur von Bezugssystem und abstrahierenden Gestaltungsmechanismen führt zu Konflikten des psychologischen Verständnisses und beeinflusst so die kognitive Verarbeitung. Konkret führt der Einfluss zu Diskrepanzen zwischen den Tiefenwahrnehmungsparametern (depth cues) und der lesbaren/wahrnehmbaren Information.

Die Strukturierung des semiotischen Modells umfasst generell die grafischen Variablen, die Gestaltungsmechanismen, die Übertragungsmedien und Informationsmittel. Die technische Ausformung der Übertragungsmedien hat gemäß ihrer „Immersion“ (Eindringlichkeit) maßgeblichen Einfluss auf die kognitive Verarbeitung und den psychologischen Einfluss. So wirken bei autostereoskopischen Displays die physiologischen Depth Cues auf den Verarbeitungsprozess, während bei Pseudo3D Interfaces nur die psycholo-

gischen Parameter zur Verfügung stehen. Eine Störung der psychologischen Parameter in der Darstellung hat dann erheblicheren Einfluss auf das Raumverständnis, als wenn physiologische Parameter die Informationsübertragung stützen würden. Beispielsweise haben parallelperspektive und unnatürlich ausgerichtete Elemente in einer zentralperspektiven Ansicht grundsätzlich negativen Einfluss auf das intuitive Raumverständnis, weil dadurch die lineare Perspektive negativ beeinträchtigt wird. Die Unterstützung der intuitiven Raumvermittlung mit Autostereoskopie schwächt den negativen Einfluss und hebt die intuitive Tiefeninformation mit dem visuellen Mechanismus der Stereoskopie stärker hervor.

Der folgende Abschnitt fokussiert nochmals auf die psychologischen Tiefenwahrnehmungsparameter mit deren wichtigsten Störfaktoren, liefert einige Beispiele der psychologischen Störung anhand von Beschriftungen und führt erste Benutzer-Untersuchungen/Befragungen bezüglich der psychologischen „Depth Cue"-Störung mit der Verankerung von Beschriftungen an.

4.2.3.1 Die Störung der psychologischen Tiefenwahrnehmung – die Intuitivitätsgröße

Die intuitive Vermittlung der Tiefeninformation mittels digitaler Interfaces basiert auf deren technische Unterstützung der menschlichen Sensorik (Abschnitt 3.3) [Palmer 1999, Cuttig 1997]. Werden alle Parameter unterstützt, handelt es sich um ein 100% immersives Interface, welches basierend auf der visuellen Sensorik keine Unterschiede zur Realität aufweist. Klarerweise werden die visuellen Sinne durch die anderen menschlichen Sinnesorgane ergänzt. So kann der virtuell vermittelte Raum trotz voller Immersion Unterschiede zur realen Wahrnehmung des Raumes aufweisen. Mit dieser Betrachtungsweise kann je nach Verwendung/Unterstützung der Tiefenwahrnehmungsparameter eine Intuitivitätsgröße definiert werden, wobei die verwendeten Parameter nicht gereiht sind. Somit ergibt die Unterstützung von einem Parameter die Intuitivitätsgröße 1, zwei Parametern die Intuitivitätsgröße 2 usw.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Fokus auf Pseudo3D Darstellungen gelegt, wodurch die physiologischen Parameter nicht näher berücksichtigt werden. Die, in Abschnitt 3.3 angeführten, psychologischen Depth Cues definieren dann die maximal erreichbare Intuitivitätsgröße für Pseudo3D Übertragungsmedien mit 6 auf der definierten Intuitivitätsskala. Die Parameter umfassen die retinale Bildgröße, lineare Perspektive, Luftperspektive, Verdeckung, Schattierung und Texturgradienten.

Tabelle 4-B: Die Intuitivitätsgröße.

Intuitivitätsgröße	„Depth Cue" Bezeichnung	Wichtige Störfaktoren
10	Retinale Parallaxe	
9	Konvergenz	
8	Akkomodation	
7	Bewegungsparallaxe	
6	Retinale Bildgröße	Einschränkung des Blickfeldes
5	Lineare Perspektive	Kartogr. Variation der Größe (Ordinale Symbolisierung)
4	Luftperspektive	Kartogr. Variation der Farbe, Helligkeit
3	Verdeckung	Kartogr. Variation der Sichtbarkeit / Reihenfolge
2	Schattierung	Kartogr. Variation von Farbe, Helligkeit, Muster
1	Texturgradient	Kartogr. Variation des Musters

Folgend sollen die wichtigsten Störfaktoren laut Tabelle kommentiert werden. Diese liefern keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da situationsbedingt weitere Störungen der Tiefenwahrnehmung auftreten können. Die „kartografische Variation“ bezeichnet den informationsbedingten Einsatz der angegebenen grafischen Variablen nach einer metrischen, ordinalen oder nominalen Kodierung.

Die r*etinale Bildgröße* wird durch die Einschränkung des Blickfeldes bestimmt. Die Ausdehnung der Schnittstellenfläche (des Übertragungsmediums) auf der Netzhaut definiert die retinale Bildgröße. Ist die Fläche kleiner als die Fläche der Sinneszellen, wird die retinale Bildgröße eingeschränkt und der psychologische Parameter nicht unterstützt.

Die *lineare Perspektive* folgt den Gestaltungssätzen der Raumwahrnehmung [Marr 1982, Kraak 1988, Rock 1998] und assoziiert beispielsweise ein weiter entferntes Element gleicher Darstellungsgröße als „größer“. Wird die Größe von Elementen für eine quantitative Aussage des Elementes eingesetzt, dann wird dieser Parameter negativ beeinflusst. Ebenso erfüllen parallelperspektive Abbildungen nicht den Gestaltungsgrundsatz der Größe und die damit verbundenen Erwartungen der Größenvariation mit einer Entfernungsänderung.

Die *Luftperspektive* verwendet die Abnahme der Farbsättigung und Zunahme der Helligkeit, um eine natürliche Dunstsituation virtuell zu simulieren. Werden Farbe und Helligkeit als Ausdrucksmittel eingesetzt, dann wird die Luftperspektive negativ beeinflusst. Der negative Einfluss kann abgeschwächt werden, wenn entweder die Wirkung der Luftperspektive in der virtuellen Umgebung verringert wird, d.h. die Auswirkung auf Farbe und Helligkeit gering gehalten wird, oder bei der Klassenbildung der Information mit färbiger Kodierung die Variationen aufgrund der Luftperspektive berücksichtigt werden. So vergrößert der Einfluss der Luftperspektive den Farbumfang einer Klasse, denn alle Abstufungen einer Farbe (mit und ohne Einfluss der Luftperspektive) müssen einer Klasse zugeordnet werden.

Die *Verdeckung* liefert mit der Sichtbarkeitsreihung eine Tiefenzuordnung. Wird die Reihung/Sichtbarkeit nicht entsprechend der Tiefenzuordnung durchgeführt, entstehen Störungen bei der Wahrnehmung. Beispiele für Sinnestäuschungen nach diesem Prinzip hat M.C.Escher auf höchstem Niveau erstellt [Schrattschneider 2003]. Weniger Sinnestäuschungen als Störungen der Tiefenwirkung ergeben sich, wenn Verankerungen von Textelementen nicht richtig „gereiht“ sind (siehe Abschnitt 4.2.3.3).

Die *Schattierung* nutzt die unscharfe oder randscharfe Grauwertprojektion eines Elementes auf die Nachbarelemente, um eine Beziehung zwischen schattenwerfendem und beschattetem Element herzustellen. Dabei wird generell ein Grauwert (mit möglichen farblichen Nuancen) verwendet. Je nach Ausprägung des Schattens nimmt ein Muster, die Helligkeit oder Farbe Einfluss auf den Schatten. Wenn beispielsweise ein Schatten hart ausgeführt wird, also gut abgegrenzt ist, dann wird ein Schwarzweiß-Muster die Form des Schattens verändern. Ähnlich wie bei der Luftperspektive erweitern die Grauwerte des Schattens Farb- oder Helligkeitsklassen. Liefert die Farbe eine Klassenzuordnung, dann müssen darin die Einwirkungen des Schattens berücksichtigt werden, damit wegen der Farbänderung (durch den Schatten) keine falsche Informationsklasse zugeordnet wird.

Der *Texturgradient* liefert seinen Tiefeneindruck durch die erkennbare Verformung eines Gradienten auf der Elementoberfläche. Wird anstatt des Gradienten eine gerichtete Musterung als Informationsträger verwendet, dann wird dieser Wahrnehmungsparameter nicht verwendet. Musterungen, die sich wegen der Perspektive und räumlichen Gegebenheit deformieren, nehmen grundsätzlich keinen Einfluss auf die Tiefenwahrnehmung.

Die angeführten Störfaktoren auf die psychologischen Einflüsse können nur einen kleinen Überblick über den Bereich der psychologisch-visuellen Verarbeitung liefern. Es wird die gegenseitige Beeinflussung zwischen den Tiefenwahrnehmungsparametern und der grafischen Gestaltung erkennbar. Einerseits

werden die grafischen Mechanismen gebraucht, andererseits führt ein unbedachter Einsatz zur Beeinträchtigung der Tiefenwahrnehmung. Für das weitere Verständnis wird mit ausgewählten Beispielen aus dem Bereich der Beschriftung näher auf die Problematik eingegangen.

4.2.3.2 Ausgewählte Beispiele aus dem Bereich der Beschriftung

Die Beschriftung nimmt in der Kartografie eine besondere Rolle ein, da dadurch nominale Werte explizit benannt werden. Während Beschriftung und Elemente in der 2D Kartografie gegenseitig angepasst werden müssen [Hake 2002], führt eine lesbare Einbettung der Schrift meist zu Störungen der Tiefenwirkung. Generell können zwei Verfahren zum Einbetten der Schrift angeführt werden, wobei wieder ein Kompromiss zwischen Lesbarkeit und Tiefenwirkung gefunden werden muss. Entweder die Beschriftung wird in die Präsentationsebene, also den Bildraum, eingebettet oder sie ist Teil der virtuellen Umgebung, also des Modellraumes [Maaß 2007]. Beide Herangehensweisen verfolgen dieselbe Motivation: die unmissverständliche, komplette und schnelle Vermittlung der Beschriftung in Zusammenhang mit ihrem Umfeld (der 3D Umgebung).

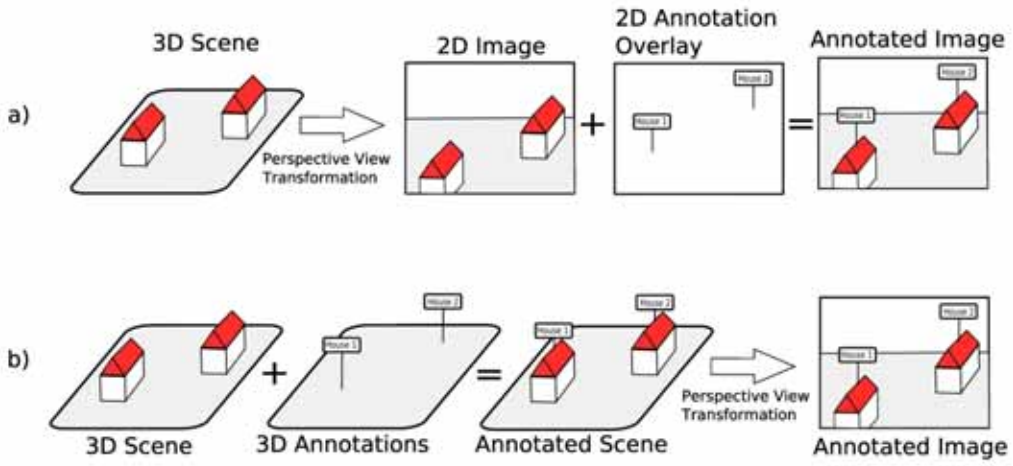


Abb. 4-24: Das Bildraum- und Modellraumverfahren, Maaß (2007).

Das *Bildraumverfahren* zur Schrifteinbettung wird nach der Rasterisierung (vgl. Abschnitt 4.1.1 - Renderingpipeline) angebracht und führt eine überlagernde Schicht, die die Beschriftung enthält, in die Darstellung ein. Dadurch sind sämtliche beschriftungsrelevante Algorithmen (bezüglich der Sichtbarkeit) auf die zweidimensionale Bildschirmebene beschränkt und erleichtern grundsätzlich die Platzierung und Lesbarkeit der Beschriftung.

Das *Modellraumverfahren* zur Schrifteinbettung integriert Beschriftungen als zusätzliche Elemente in die virtuelle 3D Umgebung. Damit unterliegt auch die Beschriftung dem Rasterisierungsprozess und wird perspektivisch korrekt in die verwendeten Beschriftungsebenen (Fassaden, Beschriftungstafeln etc.) eingebettet. Zwar kann in diesem Verfahren die Schrift wegen perspektiver Verzerrungen unleserlich werden, allerdings wird hier eine interaktive Positionierung der Beschriftung in der virtuellen 3D Umgebung ermöglicht. Da die Beschriftung als eigenes Element betrachtet wird und so „Tafeln“ in der virtuellen 3D Umgebung aufgestellt werden können, wurde diese Methode bei den folgenden Beispielen favorisiert. Die zwei Beispiele fokussieren auf verschiedene Beschriftungssituationen, die die Tiefenwirkung wegen besserer Lesbarkeit bzw. Zuordenbarkeit übergehen oder negativ beeinflussen. Die angeführten Situationen zielen auf die Verdeckung und lineare Perspektive [Maaß 2007].

4.2.3.2.1 Beschriftung und Verdeckung

Die Verdeckung erscheint zunächst als einfachster Tiefenwirkungsparameter, obwohl seine Komplexität in den kognitiven Eigenschaften liegt. Die Wirkung der Verdeckung kann einem Ordinalmaßstab zugeordnet werden, nachdem die Reihenfolge der sichtbaren Elemente festgelegt wird (ein Element ist sichtbar, wenn es nicht von einem anderen verdeckt wird). Straßenbeschriftungen in einem 3D Stadtmodell sollen generell lesbar bleiben. In dieser dichten virtuellen Bebauungssituation ist eine Lösung, die Schrift über die Gebäude laufen zu lassen, obwohl eine Verdeckung zu erwarten wäre. Das Ziel eine lesbare Beschriftung zu liefern, wird dadurch erreicht. Allerdings wird die Tiefenwirkung erheblich gestört.

Abb. 4-25: 2 Beispiele, die die Verdeckung übergehen, Maaß (2007).

Straßenbeschriftungen, oder Elementbeschriftungen im Allgemeinen, können auch über Tafeln mit zugehöriger Verankerung erfolgen. Hierbei ergibt sich bei entsprechender Dichte eine gegenseitige Verdeckung. Vielmehr stellt sich die Frage, ob die Verankerung bis zum Berührungspunkt fortgesetzt werden muss, diese Verbindungslinie nur angedeutet werden darf oder das verdeckende Element teilweise transparent geschaltet werden soll. Wird die Verbindungslinie ungeachtet der Verdeckung bis zum Berührungspunkt gezeichnet, wird die Tiefenwirkung gestört. Wird die Linie hinter dem verdeckenden Element nur angedeutet, kann es zu Verwechslungen und keiner eindeutigen Zuordnung der Beschriftung kommen. Die letzte Möglichkeit, dem verdeckenden Element Transparenz hinzuzufügen, liefert ebenso einen massiven Eingriff in die Semantik, da damit eine Veränderung des Elementes ausgedrückt und erwartet wird.

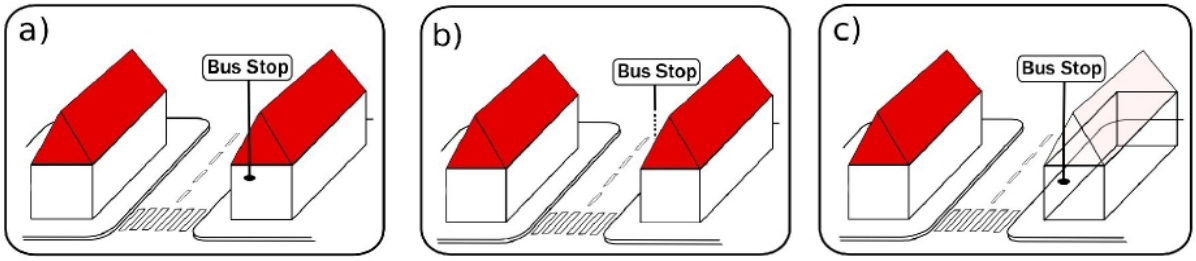


Abb. 4-26: Beschriftungsverankerung, Maaß (2007).

4.2.3.2.2 Beschriftung und lineare Perspektive

Die Beschriftung von Elementen variiert in der virtuellen 3D Umgebung grundsätzlich in der Größe. Während die Größenvariation wegen des perspektiven Einflusses erfolgt, können weitere Möglichkeiten angeführt werden: einerseits besteht die Argumentation, die Schrift immer lesbar zu halten. Dann ist es einleuchtend die Größe der Schrift weder durch die Perspektive noch durch Klassenzuordnung verändern

zu lassen, sondern eine optimale Positionierung und Lesbarkeit zu erreichen. Andererseits kann der Beschriftung ein Informationsattribut der beschrifteten Elementklasse angeheftet werden. Die Beschriftung ändert sich dann gemäß dem Wert zwischen maximaler Größe und der Mindestgröße auf dem Übertragungsmedium. Die lineare Perspektive wird in diesem Fall nicht berücksichtigt und stört damit die psychologische Tiefenwirkung.

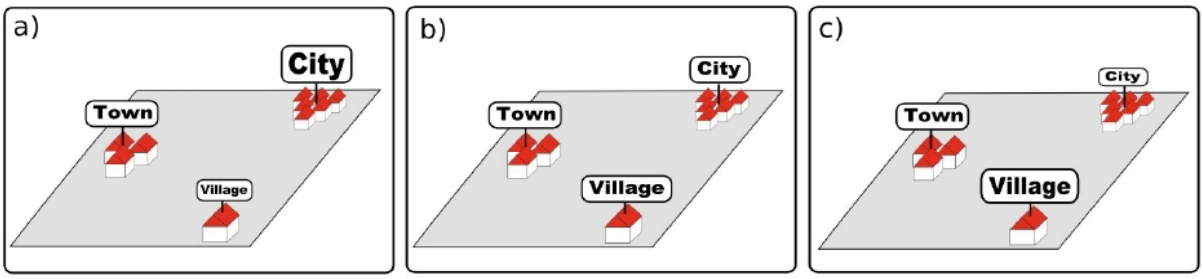


Abb. 4-27: Änderung der Schriftgröße, Maaß (2007).

Der Kompromiss zwischen Lesbarkeit und Tiefenwirkung wird auch an dem einfachen Beispiel ersichtlich, ob die Schrift in der Straße liegen oder typografisch richtig und lesbar bleiben soll. Wird die Schrift eingebettet, resultiert dies in typografischer Verzerrung und erschwerter Lesbarkeit. Bleibt die Schrift unverändert, so wirkt diese Anordnung auf die Tiefenwahrnehmung.

Abb. 4-28: Lesbarkeit vs. Tiefenwirkung, Maaß (2007).

4.2.3.3 Benutzerbefragung/-test zur Beschriftungsverankerung

Die angeführten Beispiele zeigen die Konfliktsituationen, wenn 2D und 3D Präsentationen gemischt und Tiefenparameter überlagert werden. Die Auswirkung auf die Tiefenwahrnehmung ist zwar zu erahnen, gibt aber keine klare Aussage, wie stark diese Fälle die Ästhetik oder Informationsvermittlung stören. Aus diesem Grund wurde ein Benutzertest für statische Ansichten mit Beschriftungsverankerungen, die die Tiefenwirkung stören, durchgeführt. Dabei soll ein Trend dargelegt werden: wird der Einfluss auf die Tiefenwahrnehmung bemerkt? Oder ist die Wirkung der Störung so gering, dass diese nicht weiter berücksichtigt werden muss? [Maaß 2007-B]

4.2.3.3.1 Die Testsituation

Der durchgeführte Test soll verifizieren, ob beliebige 2D Beschriftungen die menschliche Wahrnehmung bzw. die kognitive Verarbeitung beeinflussen. Wenn ein Einfluss der Tiefenstörung bemerkbar wird, dann erscheinen für zukünftige Arbeiten weitere Tests quantitativer Aspekte sinnvoll. Der Fokus des Tests lag in der Störung von 2D Beschriftungen innerhalb einer zentralperspektiven Ansicht, wobei die Verdeckung teilweise gestört wurde. Um den Einfluss anderer Tiefenparameter gering zu halten, wurde das Testbild aus einer virtuellen 3D Stadt mit einfachen Gebäuden, ohne Textur, mit globaler Illumination (ohne massive Schattierung) und in statischer Form verwendet. Während der Testdurchführung er-

kannten wir, dass noch mehr Attribute das Urteil der Testpersonen beeinflussen: beispielsweise werteten einige Personen eine Beschriftung mehr als andere, wenn sich diese auf eine größere Fläche bezog. Bei der Integration von vielen Beschriftungen spielte die ästhetische Anordnung der einzelnen Beschriftungen eine wichtige Rolle. Aus den Beobachtungen wurde ein einfacher und effektiver Test zusammengestellt [Maaß 2007-B].

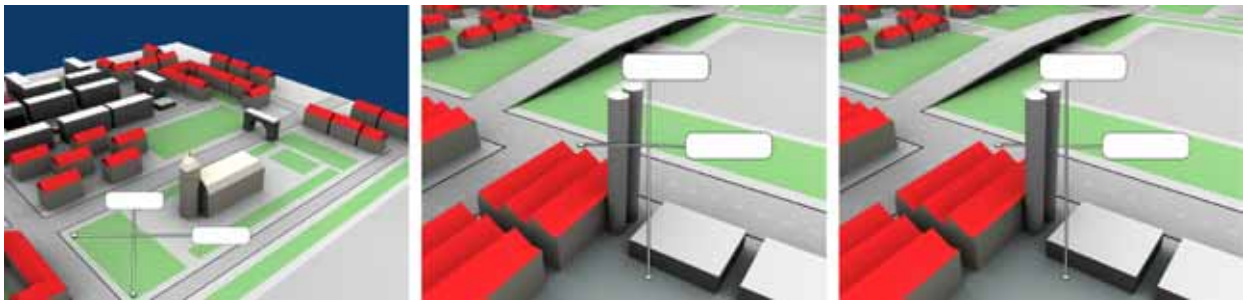


Abb. 4-29: Testsituation für die Aspekte H1, H2, H3; Maaß (2007).

Zwei „externe“ Beschriftungen (auf virtuellen Schildern) wurden für zwei verschiedene Punkte in der 3D Ansicht angebracht. Die Funktion der ersten Beschriftung war, den zu untersuchenden Effekt hervorzurufen. Daher kreuzte die Ankerlinie der ersten Beschriftung ein Referenzelement, welches näher zum Betrachter lag. Die zweite Beschriftung wurde als Tiefenreferenz platziert, wodurch deren Ankerlinie die Ankerlinie der ersten Beschriftung kreuzen musste. Die Ankerlinien wurde so gestaltet, dass der Betrachter die näher liegende gut von der anderen unterscheiden konnte. Dies war notwendig, damit die Testperson mit der ordinalen Skala der Verdeckung urteilen konnte: welches Element liegt näher?

Aus dieser Testanordnung ergaben sich drei Teilaspekte H1, H2 und H3, wie der Effekt evaluiert werden konnte [Maaß 2007-B]:

H1: Wenn beide Beschriftungen mit ihren Ankerlinien kein anderes 3D Element, welches näher als ihre Ankerpunkte liegt, überlagern, dann wird die Linie, deren Ankerpunkt näher zum Betrachter liegt, als Vordergrund beurteilt werden.

H2: Wenn die Ankerlinie der Beschriftung ein Szenenelement, das näher als der Ankerpunkt liegt, schneidet, dann wird die Ankerlinie kognitiv verbogen, da die Tiefeninformation kontinuierlich beurteilt wird. Als Konsequenz könnte dieses Szenenelement als Vordergrund interpretiert werden, obwohl ein Ankerpunkt einer zweiten Beschriftung näher zum Betrachter liegt.

H3: Wenn in der Situation H2 ein Szenenelement die erste Ankerlinie verdeckt, aber die zweite Ankerlinie auch verdeckt wird, obwohl ihr Ankerpunkt näher am Betrachter liegt, dann wird der erste Aspekt H1 wieder gültig – der nähere Ankerpunkt wird als Vordergrund beurteilt.

4.2.3.3.2 Die Durchführung

Für jeden Aspekt H1, H2, H3 wurden bildliche Variationen geschaffen, die sich nur im Bereich der Verdeckungssituation unterscheiden. Es ergaben sich so aus den drei Aspekten, mit je vier Testansichten in zwei Variationen, insgesamt 24 Ansichten, die in 4 Tests eingebettet wurden. Die Reihenfolge der Ansichten innerhalb eines Tests war zufällig gewählt, um Lerneffekte zu verhindern. Die Ansichten wurden als Diashow abgespielt, wobei die Varianten gleichzeitig angezeigt wurden. Die Frage, welche der Ansichten am „angenehmsten“ wirkt, konnte mit „links“, „rechts“ oder „beide“ beantwortet werden. Die Dias des Tests befinden sich im Anhang A.

Insgesamt nahmen 47 Teilnehmer an diesem Test teil, wobei sich diese in 16 weibliche und 31 männliche Teilnehmer kategorisierten. Es handelte sich dabei um Studenten und Kollegen, die mit virtuellen 3D Umgebungen, wie 3D Visualisierungen oder 3D Spielen, Erfahrung hatten. Ihr visueller Sehapparat war normal oder für eine normale Wahrnehmung korrigiert (Brillen- und Linsenträger).

4.2.3.3.3 Das Resultat

Die Auswertung der Tests wurde den drei Teilaspekten folgend durchgeführt und interpretiert. Tabelle 4-C zeigt die Resultate des Aspekts 1, Tabelle 4-D des Aspektes 2 und Tabelle 4-E des Aspekts 3. Dem ersten Aspekt, nach dem eine Beschriftung näher liegt, wenn ihr Ankerpunkt näher zum Betrachter liegt, wurde von der Mehrheit zugestimmt.

Tabelle 4-C

Aspekt H1	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Durch-schnitt
Zustimmung	59,6%	63,8%	83,0%	68,1%	68,6%
unentschieden	14,9%	8,5%	6,4%	17,0%	11,7%
Ablehnung	25,5%	27,7%	10,6%	14,9%	19,7%

Der zweite Aspekt, nach dem ein Szenenelement durch die Verdeckung einer ersten Beschriftung im Vordergrund erscheint, obwohl ein Ankerpunkt einer zweiten Beschriftung näher zum Betrachter liegt, wurde von der Mehrheit abgelehnt. Interessant dabei ist die Beweiskraft des ersten Aspektes, die in dieser komplexen Situation nicht so stark ist, als wenn kein Szenenelement verdeckt wird. Unter diesem Aspekt erhöhten sich die unentschiedenen Antworten. Dieser Umstand spiegelt den Untersuchungsgegenstand wieder: die Tiefenwirkung wird beeinflusst. Die Klarheit der Aussage ist allerdings nicht so hoch wie erwartet.

Tabelle 4-D

Aspekt H2	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Durch-schnitt
Zustimmung	10,6%	42,6%	25,5%	34,0%	28,2%
unentschieden	27,7%	14,9%	17,0%	29,8%	22,3%
Ablehnung	61,7%	42,6%	57,4%	36,2%	49,5%

Der dritte Aspekt, dass ein ferner Ankerpunkt zur Beurteilung „Hintergrund“ führt, wurde von der Mehrheit angenommen. Gegenüber dem ersten Aspekt war die Zustimmung deutlicher. Dies kann auf eine verstärkte Unterstützung der Tiefenwirkung in der Testansicht zurückgeführt werden.

Tabelle 4-E

Aspekt H3	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Durch-schnitt
Zustimmung	83,0%	70,2%	83,0%	89,4%	81,4%
unentschieden	4,3%	10,6%	12,8%	8,5%	9,0%
Ablehnung	12,8%	19,1%	4,3%	2,1%	9,6%

Die Benutzertests zur Beschriftungsverankerung zeigten, dass die Tiefenwirkung leicht beeinträchtigt wird. Sie zeigten aber auch die Korrekturfähigkeit des Menschen, wenn in der Anordnung der Tiefeninformation Fehler geschehen. Diese Korrekturfähigkeit führte in den Testverfahren zu schwächeren Aussagen. Die Grundhypothese dieser Untersuchung, dass die Tiefenwirkung gestört wird, wurde bestätigt. Sie bildet die Grundlage für weitere Forschungsaktivitäten, die in den Testverfahren die einzelnen Einflussgrößen noch klarer trennen und gezielter einsetzen müssen.

Die psychologischen Einflüsse beziehen sich in einer virtuellen 3D Umgebung stark auf die grafische Gestaltung. Sie sind deshalb im semiotischen Gerüst zu berücksichtigen. Es reicht nicht nur eine erhöhte Tiefenwirkung zu erreichen und damit die „Effektivität“ (effectiveness) zu steigern, sondern auch Widersprüche in der Raumwahrnehmung zu vermindern. Damit werden die Informationszuordnung, Lesbarkeit und Ausdrucksstärke (expressiveness) unterstützt.

4.3 Zusammenfassung zur semiotischen Modellierung

Die Strukturierung des semiotischen Modells berücksichtigt die Eigenschaften der Computergrafik, die aus unterschiedlichen Informationsräumen eine Darstellung für ein Übertragungsmedium errechnet. Die scheinbare Freiheit der grenzenlosen Kombination vorliegender Daten und Mechanismen wird mit den Anforderungen der menschlichen Physiologie und Psychologie in Kombination mit dem Leistungsspektrum der verwendbaren Übertragungsmedien eingeschränkt. Die Einschränkungen betreffen besonders das gegenseitige Spiel zwischen Tiefenwirkung und Lesbarkeit. Für die Tiefenwirkung werden sämtliche natürliche Mechanismen simuliert, um die virtuelle und natürliche Raumwahrnehmung anzugleichen. Die Lesbarkeit der virtuellen 3D Karte versucht, die Präsentationsschnittstelle möglichst optimal zu nutzen. Im Fall von Pseudo3D- und Parallax3D-Schnittstellen handelt es sich dabei um Ebenen, deren Auflösung dem technischen Aufbau entsprechend eingeschränkt ist. Erst inhaltliche Anpassungen erreichen die notwendige Mindestgröße, um ein aussagekräftiges Kartenelement zu schaffen. Aus diesem Grund wurde auf den Berechnungsablauf (die Renderingpipeline) der Darstellung eingegangen. Mit dem detaillierten Einblick in die Verarbeitungsschritte der Computergrafik von der Anwendungsstufe über die Geometriestufe bis zur Rasterisierungsstufe werden Eingreifmöglichkeiten für den Kartografen erkenntlich. Grundsätzlich kann an jeder Stelle in den Prozess eingegriffen werden. Es ändern sich die Rahmenbedingungen für die Umsetzung der kartografischen Anforderungen (Einflussnahme auf die Geometrie, die einzelnen Knoten oder auf das Bildmodell). Die minimalen Voraussetzungen, um ein sichtbares Bild in 3D zu erreichen, bilden die Grundlage für das Begriffsverständnis. Sämtliche Begriffe, die im Rahmen der Computergrafik für 3D verwendet werden, sind damit kategorisiert und präzise beschrieben. Sie reichen von einem einfachen 3D Modell bis zur 3D Karte.

Die semiotische Strukturierung gliedert sich in die drei wesentlichen Bereiche der virtuellen Umgebung, der Gestaltungsmechanismen und der psychologischen Einflüsse. Die *virtuelle Umgebung* betrifft Projektionsvariationen zur besseren Verwendung der Informationsschnittstelle. In diesem Abschnitt konnte gezeigt werden, dass mit der progressiven und degressiven Variation der Perspektiven gezielte Verbesserungen für die Informationsvermittlung herbeigeführt werden können. Dies gilt besonders für die grundsätzlichen Nachteile der zentralperspektiven 3D Darstellung, die durch Maßstabszonen und spezifische Verwendung von Grund- und Aufrisssituation vermindert werden.

Die *Gestaltungsmechanismen* der grafischen Elemente in 3D zeigen die Komplexität der grafischen Gestaltung in 3D auf. Erweiternd zum relativ einfachen Reglement der 2D Karte, wo die Kartenelemente Punkt, Linie, Fläche, Diagramm und Schrift mit den grafischen Variablen für die raumbasierte Aussage

verbunden werden, müssen in der 3D Karte globale und elementweise Gestaltungsmechanismen berücksichtigt werden. In diesem Abschnitt wurde der gegenseitige Einfluss der Gestaltungsmechanismen auf die grafischen Variablen und Elemente erarbeitet. Mit einem tabellarischen Überblick können nun die Wirkungen der Gestaltungsmechanismen auf die grafischen Variablen abgelesen und bei der Implementierung einer 3D Karte berücksichtigt werden.

Der *Einfluss der Psychologie* zeigt sich mit der Störung zweidimensionaler Elemente in dreidimensionalen Umgebungen. Für Übertragungsmedien wurde in diesem Abschnitt für ihre Eindringlichkeit eine Intuitivitätsgröße eingeführt, die die Effektivität (effectiveness) der Schnittstelle beziffert. Mit der Beschriftungsproblematik in 3D konnte das Wechselspiel von intuitiver Tiefenwahrnehmung und Lesbarkeit dargelegt werden. Die durchgeführten Benutzertests liefern ein empirisches Ergebnis über den Einfluss auf die Tiefenwirkung von Pseudo3D Schnittstellen: inkonsistente Darstellungen verunsichern den Benutzer und stören die Informationsaufnahme. Die semiotische Modellierung hinsichtlich aller Mechanismen und Einflüsse für virtuelle 3D Karten wird damit unterstützt.

5 Zusammenfassung und Perspektiven

Dieser Abschnitt fasst die vorliegende Arbeit zusammen und schließt damit die Betrachtungen zur semiotischen Modellierung für die kartografische Kommunikation mit 3D ab. Hier soll nochmals auf das ursprüngliche Ziel hingewiesen werden und ob dieses erreicht wurde. In diesem Zusammenhang wird kurz auf die Methodik eingegangen. Weiters werden die Resultate und wichtigen Erkenntnisse angeführt, die dann in den Ausblick für zukünftige Forschungsrichtungen münden.

5.1 Resümee

Diese Forschungsarbeit zeigt mit der interdisziplinären Herangehensweise durch hermeneutische, formale und empirische Methoden, dass 3D Präsentationen unter bestimmten Voraussetzungen in der modernen Kartografie sinnvoll einsetzbar sind. Die moderne Kartografie steht dabei hinter der Paradigmenentwicklung, wodurch nicht nur die Dokumentation und Analyse der Erdoberfläche als Aufgabe gesehen wird, sondern die Kommunikation räumlicher Phänomene eine zentrale Bedeutung einnimmt.

Die hermeneutischen Methoden wurden besonders bei den Kommunikationstheorien eingesetzt, um damit die Gültigkeit des Paradigmas „Kommunikation“ in der Kartografie zu untersuchen. Ergänzt mit einem neuen Bild des kartografischen Kommunikationsprozesses als Kreislauf der Massenkommunikation, wird die These der Sinnhaftigkeit von 3D für die Kommunikationsaufgabe bestätigt. Die moderne Kartografie positioniert sich in dem human-technischen Bereich der Massenkommunikation. Ein Produkt erreicht mit dem Übertragungsmedium viele Empfänger, die je nach Ausformung des Kommunikationssystems eine uni- oder bidirektionale Interaktion/Kommunikation etablieren können. Nach Merten (1999) bilden die technischen Ausformungen „Multimedia“ oder auch „3D Präsentation“ eine hohe Evolutionsstufe der Kommunikation. Es wird die menschliche Sensorik für die Vermittlung der Information breit unterstützt.

Formale Beziehungen wurden bei der Geo-Medientechnik eingesetzt. Mit der Eindeutigkeitsbeziehung wird der Zusammenhang zwischen Bildschirmtechnik und Auflösung des Informationsmittels beschrieben. Die semiotische Richtgröße erweitert die Eindeutigkeitsbeziehung mit der betrachtungsdistanzabhängigen Auflösungsfunktion des Auges. Die semiotische Richtgröße gibt so Auskunft über die Qualität der Darstellung auf dem Übertragungsmedium. Der Eindeutigkeitskoeffizient ergänzt die Terribilini'sche Formel, die die Größe eines Elementes auf der Projektionsebene beschreibt, sodass diese die resultierende Elementgröße auf dem Übertragungsmedium wiedergibt. In diesem Zusammenhang wird die Unterscheidung von Projektionsebene (Informationsmittel) und Übertragungsmedium notwendig, da die bildhafte Berechnung einer 3D Szene nicht unbedingt an das Übertragungsmedium gebunden ist. D.h., es kann ein Bild mit höherer oder minderer Auflösung, als die des Übertragungsmediums berechnet wer-

den. Der Eindeutigkeitskoeffizient stellt hier die formalisierte Verbindung her, die eine minimale Elementgröße auf dem Übertragungsmedium berechnen lässt.

Die empirischen Methoden wurden für eine Benutzerbefragung angewandt, die die Störung der psychologischen Tiefenwahrnehmung im Zusammenhang mit Bildbeschriftungen untersucht. Hierbei konnte mit 47 Teilnehmern ein Trend ermittelt werden, der die grundsätzlichen Hypothesen bestätigte und so die Bedeutung der psychologischen Tiefenwahrnehmungsparameter belegt. Die Störung der psychologischen Tiefenwahrnehmung führt zu Verunsicherungen beim Rezipienten und erhöhtem kognitiven Aufwand bei der Informationsverarbeitung.

Das ursprüngliche Ziel dieser Forschungsarbeit war, eine mögliche Struktur für ein semiotisches Modell in multimedialen 3D Präsentationen mit kartografischem Inhalt zu erarbeiten. Dafür wurde die zentrale Hypothese mit dreifacher Kausalität formuliert: wenn 3D Präsentationsformen für den kartografischen Einsatz verwendet werden, dann sind Erweiterungen des semiotischen Modells notwendig, die Charakteristik des Übertragungsmediums und psychologische Tiefenwahrnehmungsparameter zu berücksichtigen.

In Kapitel 2 „Theoretische Grundlagen im Kontext der kartografischen Informationsvermittlung“ wurde zunächst mit bestehenden Kommunikationsmodellen die Bedeutung von 3D für die kartografische Kommunikation erarbeitet. Nach den Kommunikationstheorien, Lerntheorien und Grundlagen der räumlichen Wissensvermittlung bildet die 3D Präsentation ein zentrales Werkzeug für die naive Geografie. Somit kann 3D als wichtiger Bestandteil der kartografischen Kommunikation bezeichnet werden. Die anatomische Mechanik des Raumbildes führt weiters zum Schaltplan der Raumwahrnehmung, der die bestmögliche Trennung von Kognition und Perzeption darstellt und Möglichkeiten für zukünftige interdisziplinäre Forschungen bietet.

Im ersten Teil des Kapitel 3 „Geo-Medientechnische Rahmenbedingungen“ wird eine allgemein gültige Bezugsgröße des Übertragungsmediums als Qualitätsmaß formuliert, die sich in Form der Auflösung darbietet. Damit kann eine formale Beziehung zwischen der Auflösung des Auges, dem Übertragungsmedium und dem Informationsmittel erstellt werden. Diese Beziehung wird bei der Berechnung der Elementgröße auf dem Übertragungsmedium berücksichtigt (Abschnitt 4.2.2.5) und schließt so an die ausgewählten Richtwerte für kartografische Elemente bei der Bildschirmpräsentation an. Im zweiten Teil des Kapitel 3 werden sämtliche Übertragungsmedien, die speziell für 3D Präsentationen geeignet sind, gemäß ihren unterstützten Tiefenwahrnehmungsparametern klassifiziert. Die Bezugsgröße „Auflösung“ bleibt für alle angeführten Übertragungsmedien als Qualitätsmaß erhalten.

In Kapitel 4 „Strukturierung des semiotischen Modells für 3D“ wird mit den Eigenschaften von 3D Präsentationen auf den Berechnungsablauf der Computergrafik und den unbedingten Voraussetzungen von 3D eingegangen. Daraus werden Zugriffspunkte für die Kartografie im Renderingprozess erkennbar. Weiters erweitert 3D die traditionellen grafischen Variablen mit Betrachtungsvariablen und Gestaltungsmechanismen, die im Modell der allgemeinen semiotischen Strukturierung berücksichtigt werden. Ergänzend ist dem Kapitel 4 ein Benutzertest zum Einfluss der Psychologie angefügt, der die dritte Kausalität, psychologische Tiefenwahrnehmungsparameter sind zu berücksichtigen, mit einem empirischen Trend bei Beschriftungen in 3D Umgebungen beweist.

Insgesamt konnte gezeigt werden, dass durch die spezifischen Betrachtungsvariablen und Gestaltungsvariablen in 3D das traditionelle semiotische Modell von 2D erweitert werden muss. Die Gegenüberstellung der grafischen Variablen mit den globalen und elementweisen Gestaltungsmechanismen zeigt den gegenseitigen Einfluss und somit die gleichwertige Positionierung in der semiotischen Struktur. Die Gestal-

tungsmechanismen von 3D liefern weiters Möglichkeiten, die Präsentationsfläche des Übertragungsmediums durch adaptierte Projektionsvariationen inhaltlich besser zu nutzen. Die Eigenschaften der Übertragungsmediums werden dadurch besonders berücksichtigt.

5.2 Resultate und wichtige Ergebnisse

Die vorliegende Forschungsarbeit betrachtet die Verwendung von 3D Präsentationen im kartografischen Umfeld. In diesem Kontext der kartografischen Kommunikation bilden sich mit den Kommunikationstheorien wesentliche Berührungspunkte, die sich in den drei semiotischen Dimensionen äußern. Die semantische-, pragmatische und syntaktische Ebene der Linguistik (die Karte als grafische Sprache) entspricht analog diesen sozialen-, biologischen- und technischen Dimensionen der Kommunikation, die besonders im Umfeld der Massenkommunikation bedeutend sind. 3D Präsentationen als Teil der kartografischen Massenkommunikation unterliegen dieser Dimensionalität, wobei die semiotische Modellierung dieser Arbeit auf die technische Dimension fokussiert.

Erst die differenzierte Betrachtung des Begriffes Medium ermöglichte die Bildung einer allgemeinen Richtgröße als qualitatives Merkmal der Präsentation. Die Trennung von Informationsträger und Informationsmittel zeigt die oft missverständlichen Auflösungsbezeichnungen bei Präsentationsmedien auf. Durch diese Beziehung kann vor allem im Bereich der 3D Präsentation die Auflösungsproblematik der Projektionsebene, des Bildraumes oder der Präsentationsfläche konkret benannt und eine Qualitätsabschätzung durchgeführt werden.

Aus der geo-medientechnischen Betrachtung des Übertragungsmediums folgt die semiotische Strukturierung mit Einbindung der zusätzlichen Betrachtungsvariablen und Gestaltungsmechanismen von 3D. Damit werden Aspekte des inhaltlichen Informationsgewinns und des verwendeten Übertragungsmediums in die Präsentationsgestaltung eingebunden. Konkret wird bei den Betrachtungsvariablen durch Projektionsvariationen die abgebildete Aufriss- und Grundrisssituation der 3D Umgebung verändert, um die Präsentationsfläche besser zu nutzen. Die Beurteilung der besseren Nutzung basiert nur auf den syntaktischen Betrachtungen und wird mit der Reduktion von toten Informationspixeln argumentiert. Die Überprüfung der pragmatischen Ebene mit Benutzertests ist Gegenstand zukünftiger Forschungsschwerpunkte. Die globalen und elementweisen Gestaltungsmechanismen in 3D beeinflussen die grafischen Variablen. Aus diesem Grund stehen die Gestaltungsmechanismen den grafischen Variablen in der semiotischen Struktur gleichwertig gegenüber. Die Untersuchung der kognitiven Empfindlichkeit bei der Tiefenwahrnehmung unterstützt die gleichwertige Gegenüberstellung, da eine Verletzung der erwarteten „Perspektive“ zu Missverständnissen und längerer kognitiver Verarbeitung führt.

5.3 Ausblick auf weitergehende Forschungsfragen

Die vorwiegend syntaktischen Betrachtungen dieser Forschungsarbeit führen unweigerlich zu benutzerorientierten Tests der pragmatischen und semantischen Ebene. Es drängt sich besonders die Frage auf, ob die theoretischen technischen Überlegungen anwendbar sind und verstanden werden. Beispielsweise wird es notwendig die Projektionsvariationen bei 3D Stadtmodellen auf ihre Anwendbarkeit und allgemeines Verständnis zu untersuchen. Möglicherweise gibt es bestimmte Situationen, in welchen progressive oder degressive Perspektiven einen Vorteil in der pragmatischen und semantischen Ebene bieten.

Die globalen und elementweisen Gestaltungsmechanismen sind in der Computergrafik für fotorealistische Grafiken unerlässlich. In der Kartografie stehen die Gestaltungsmechanismen mit den grafischen

Variablen im gegenseitigen Wechselspiel, wie es in dieser Arbeit gezeigt werden konnte. Unter diesem Aspekt gewinnt „nicht-fotorealistisches“ Rendering (NPR) für eine kartografische Kommunikation neue Bedeutung. Zukünftige dynamische Anwendungen von 3D Stadtmodellen, topografischen oder thematischen Ansichten können mit der semiotischen Struktur gezielten Forschungsfragen für effiziente kartografische Darstellungsmethoden in der Computergrafik nachgehen.

6 Literatur

[AEC 2008] Humphrey II im Ars Electronica Center in Linz, Österreich, http://www.aec.at/en/futurelab/projects_sub.asp?iProjectID=12273, besucht am 6.5.2008

[AEC 2008b] CAVE im Ars Electronica Center in Linz, Österreich, http://www.aec.at/en/center/current_exhibition_detail.asp?iProjectID=11197, besucht am 6.5.2008

[chromatek 2008] Chromadepth Technologien, http://www.chromatek.com/, besucht am 6.5.2008

[CityGML 2007] Special Interest Group 3D (Hrsg.): CityGML Specification. 2007, S. 9 (Stand: 8.12.2007).

[holografie 2008] Holografie Online; http://www.holographie-online.de/; besucht am 6.5.2008

[Projektoren 2008] Zusammenstellung von Projektortechnologien, http://de.wikipedia.org/wiki/Projektor, besucht am 6.5.2008

[VRD 2008] Virtual Retinal Display;
http://www.cs.nps.navy.mil/people/faculty/capps/4473/projects/fiambolis/vrd/vrd_full.html, besucht am 6.5.2008

Abrash Michael (1997) Michael Abrash's Graphics Programming Black Book Special Edition. The Coriolis Group, Scottsdale Arizona. ISBN 1-57610-174-6 (http://www.gamedev.net/reference/articles/article1698.asp visited at April, 2008)

AIS, Entwicklung eines Prototyps "ÖROK Atlas online", Forschungsprojekt der Forschungsgruppe Kartographie, Inst. f. Geoinformation und Kartographie, TU Wien.

Akenine-Möller Tomas, Haines Eric (2002) Real-Time Rendering, 2. Aufl., A K Peters Ltd: Natick, US, ISBN 1-56881-182-9

Albertz J. (Hrsg.)(1997) Wahrnehmung und Wirklichkeit. Wie wir die Umwelt sehen, erkennen und gestalten. Schriftenreihe der Freien Akademie, Band 17, Freie Akademie: Berlin. ISBN 3-923-83415-2.

Amelang, M. & Bartussek, D. (1997) Differentielle Psychologie und Persönlichkeitsforschung (4. Aufl.). Kohlhammer: Stuttgart. Kapitel 12.2.2-12.3.7 S.194-225.

Ankerst Mihael, Kastenmüller Gabi, Kriegel Hans-Peter, Seidl Thomas (1999) 3D shape histograms for similarity search and classification in spatial databases. In Ralf Hartmut Güting, Dimitris Papadias, and Frederick H. Lochovsky, editors, Lecture Notes in Computer Science, volume 1651, pages 207–226. Springer.

Arnberger E. (1993) Thematische Kartographie, 3. Aufl., Wedtermann Verlag, Wien.

Aubrecht Christoph, Dutter Marieke, Hollaus Markus, Steinocher Klaus (2007) Objekt-orientierte Analyse veon Fernerkundungsdaten mit anschliessender Gebäudegeneralisierung als Basis für 3D Visualisierungen im urbanen Raum; Beiträge zum 19. AGIT Symposium Angewandte Geoinformatik 2007 Salzburg; Strobl, Blaschke, Griesebner (Hrsg.); Herbert Wichmann Verlag: Heidelberg.

Bach M., Kommerell G. (1998) Sehschärfebestimmung nach Europäischer Norm: wissenschaftliche Grundlagen und Möglichkeiten der automatischen Messung; in Klein Mbl Augenheilk, 212, S. 190-195, Freiburg.

Bandura A. (1987) Sozial kognitive Lerntheorie; Klett-Cotta: Stuttgart.

Baumgartner G., Bornstein H., Hanitzsch R., Jung R., Kornhuber H.H., Rentschler I., Schober H., Thoden U. (1978) Sehen. Sinnesphysiologie III. In: Gauer O.H., Kramer K., Jung R. (Hrsg.) Physiologie des Menschen. Band 13. Urban&Schwarzenberg: München, Wien, Baltimore.

Bay Susanne, Ziefle Martina (2008) Landmarks or surveys? The impact of different instructions on children's performance in hierarchical menu structures, in Computers in Human Behavior, Volume 24, Issue 3, Pages 1246-1274, Elsevier.

Becker M. E. (2006) International Display Standards: Status & Agenda, SID'06 International Symposium, Session 9: Display-Measurement&Standards, Paper 9.1.

Bender Michael, Brill Manfred (2006) Computergrafik: ein anwendungsorientiertes Lehrbuch. Hanser, München, ISBN 3-446-40434-1

Bentele Günter, Beck, Klaus (1994) Information – Kommunikation – Massenkommunikation: Grundbegriffe und Modelle der Publizistik- und Kommunikationswissenschaft. In: Otfried Jarren (Hrsg.): Medien und Journalismus 1, Opladen, S. 16-50.

Berann H.C. (1986) Darstellende Kunst im Panorama. In: Herrmann, C., H.F. Kern (Hrsg.): Kartenverwandte Darstellungen – Werkstattberichte. Karlsruher geowissenschaftliche Schriften, Reihe A, Band 4. Karlsruhe. 57–67.

Bertin J. (1982) Graphische Darstellungen – Graphische Verarbeitung von Informationen, übersetzt und bearbeitet von Wolfgang Scharfe, Walter de Gruyter, Berlin.

Bertin, J (1974) Graphische Semiologie. Walter de Gruyter, Berlin/New York.

Bezema Rutger, Müller Markus U., Rubach Hanko, Poth Andreas, Taddei Ugo (2007) Interoperabilität für 3D Geodaten – Erfahrungen mit CityGML und OGC Web Services; Beiträge zum 19. AGIT Symposium Angewandte Geoinformatik 2007 Salzburg; Strobl, Blaschke, Griesebner (Hrsg.); Herbert Wichmann Verlag: Heidelberg.

Blumstengel A.(1998) Entwicklung hypermedialer Lernsysteme. Dissertation, Wissenschaftlicher Verlag: Berlin.

Blythe David (1999) Advanced Graphics Programming Techniques Using OpenGL. Siggraph.

Board C. (1967) Maps as Models. In Chorley R.J. And Haggett P. (Eds.), Models in Geography. PP. 671-725. London: Methuen.

Board C. (1978) How can theories of cartographic communication be used to make maps more efficient? In: Kirschbaum, G.M.a.K.M. Meine (Hrsg.): Internationales Jahrbuch für Kartographie. Kirschbaum: Bonn. S. 41-49.

Bodenmann Guy, Perrez M., Schär M. (2004) Klassische Lerntheorien. Grundlagen und Anwendungen in Erziehung und Psychotherapie, Huber: Bern.

Bollmann J., Koch G.W., Lipinkski A. (2002) Lexikon der Kartografie; Spektrum Akademischer Verlag GmbH; Heidelberg, Berlin.

Bonfadelli Heinz (2004) Medienwirkungsforschung I – Grundlagen; 3. Aufl.; UVK Verlagsgesellschaft mbH: Konstanz.

Borovsky Peter, Hesina Gerd, Tobler Robert F. (2005) MetropoVis: Time-Dependent Real-Time Rendering of Large and Photorealistic Virtual Cities; Proceedings CORP 2005 & Geomultimedia05; Manfred SCHRENK (Hrsg.); Wien, ISBN: 3-901673-12-1.

Bortz Jürgen, Döring Nicola (2006) Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler; 4. Aufl.;Springer Medizin Verlag: Heidelberg.

Brauen, G. (2006) Designing Interactive Sound Maps Using Scalable Vector Graphics. Special Issue of Cartographica on Cybercartoraphy 41 (1), edited by Taylor, D. R. F. and S. Caquard.

Brodersen Lars (2001) Maps as Communication – Theory and Methodology in Cartography, National Survey and Cadastre Denmark, ISBN 87-7866-308-3

Brodersen Lars (2007) Geokommunikation. Habilitationsschrift. Aalborg Universität. Aalborg. ISBN 978-87-984-1135-2.

Bruce V., Green P.R. (1990) Visual Perception: Physiology, Psychology and Ecology. 2. Aufl., Erlbaum: Hove, UK.

Brunner K. (2001) Kartengestaltung für elektronische Bildanzeigen. In: Kartographische Bausteine; Band 19; Technische Universität Dresden.

Brunner-Friedrich B (2004) InMuKIS – Konzept eines benutzergruppenangepassten interaktiven multimedialen kartographischen Informationssystems für die Schule zur Präsentation raumbezogener Informationen; Dissertation; Technische Universität Wien.

Brunner, K. (2000) Neue Gestaltungs- und Modellierungsaufgaben für den Kartographen – ein Plädoyer für eine attraktive Kartengrafik zur Bildschirmvisualisierung; In: Kelnhofer, F. und Lechthaler, M. (Hrsg.): Interaktive Karten (Atlanten) und Multimedia-Applikationen. Geowissenschaftliche Mitteilungen, Heft 53, Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessungswesen und Geoinformation, Technische Universität Wien, S. - 62

Buchroithner M. (1989) Fernerkundungskartographie mit Satellitenaufnahmen, Digitale Methoden, Reliefkartierung, geowissenschaftliche Applikationsbeispiele; in Arnberger E. (Hrsg.) Die Kartographie und ihre Randgebiete, Enzyklopädie; mit der österreichsichen Akademie der Wissenschaften; Verlag Franz Deuticke, Wien.

Buchroithner M. (2002) Autostereoskopische kartografische 3D-Visualisierung; Kartographische Schriften, Band 6, eds. Deutsche Gesellschaft für Kartographie e. V., Kirschbaum Verlag, Bonn.

Bülthoff Heinrich H., van Veen Hendrick A.H.C. (2001) Vision and Action in Virtual Environments: Modern Psychophysics in Spatial Cognition Research; in Vision and Attention; Springer Verlag: New York, Berlin, Heidelberg; ISBN 0-387-95058-3.

Bungartz Hans-Joachim (2002) Einführung in die Computergraphik: Grundlagen, geometrische Modellierung, Algorithmen. Vieweg, Braunschweig, ISBN 3-528-16769-6

Bürger, M., Neumann, W. (2001) Screen Design und visuelle Kommunikation – Gestaltung interaktiver Ober-flächen. Hüthig Verlag, Heidelberg.

Burgess N., Jeffrey K.J., O´Keefe J. (1999) The Hippocampal and Parietal Foundations of Spatial Cognition. Oxford University Press: Oxford, New York, Tokyo.

Burkart Roland (2002). Kommunikationswissenschaft – Grundlagen und Problemfelder. 4. Aufl., Böhlau Verlag, Wien–Köln–Weimar.

Buziek G. (2000) Theoretische Grundlagen der Gestaltung von Animation und praktische Grundlagen. In: Buziek G., Dransch D., Rase Wolf-Dieter (eds.) Dynamische Visualisierung. Springer Verlag: Berlin.

Buziek G., Dransch D., Rase W.-D. (2000) Dynamische Visualisierung – Grundlagen und Anwendungsbeispiele für kartographische Animationen, Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag.

Buzin Rainer (2001). Multimedia-Kartographie – Eine Untersuchung zur Nutzer-Orientierung kartomedialer Atlanten. Diss., TU Dresden, Der Andere Verlag, Osnabrück.

Cakmakci O., Rolland J. (2006) Head-Worn Displays: A Review. Journal of Display Technology. Vol. 2, Issue 3, 2006.

Camps T., Kühling S., Rosenberger G. (2006) Einführung in die mengentheoretische und die algebraische Topologie. Heldermann, ISBN 3-885-38115-X.

CANE, Cybercartography and the New Economy, Forschungsprojekt des „Geomatics and Cartographic Research Centre (GCRC)“, http://www.carleton.ca/gcrc/caap/proj_abstract01.htm, Stand: 08.02.2006.

Caradonna Andre (2000). Modelle der Massenkommunikation. ...

Card St. K. (1989). Human Factors and Artifical Intelligence. In: Hancock P. A., Chignell M. H. (eds.) Intelligent Interfaces: Theory, Research and Design. pp. 27-48, Amsterdam.

Cartwright W., Peterson P.M., Gartner G. (Hrsg.)(1999) Multimedia Cartography, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Cartwright W., Peterson P.M., Gartner G. (Hrsg.)(2006) Multimedia Cartography, 2. Aufl.; Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Casti Emanuela (2000) Reality as Representation. The semiotics of cartography and the generation of meaning", Bergamo University Press.

Catanese P. (2002) Director´s Third Dimension – Fundamentals of 3D Programming in Director8.5; Que, Indianapolis.

Champion Erik (2005). Place Space & Monkey Brains: Cognitive Mapping in Games & Other Media. Proceedings of DiGRA 2005 Conference: Changing Views – Worlds in Play.

Chandler Daniel (2002) Semiotics – the basics; Routledge Taylor&Francis Group: New York. ISBN 0-415-35111-1.

Chignell M. H., Hancock P. A. (1988). Intelligent Interface Design. In: Helander M. (ed.) Handbook of Human-Computer Interaction. pp. 969-993, Elsevier.

Christiansen, C., Abreu, B., Ottenbacher, K., Huffman, K., Masel, B. and Culpepper, R. (1998) Task Performance in Virtual Environments Used for Cognitive Rehabilitation after Traumatic Brain Injury, Arch Phys Med Rehabil, Vol 79, 888-892.

Ciompi, L. (1997) Die emotionalen Grundlagen des Denkens. Entwurf einer fraktalen Affektlogik. Vanderhoeck & Ruprecht: Göttingen.

Cohen-Or Daniel, Chrysanthou Yiorgos, Silva Claudio T., Durand Fredo (2003) A Survey of Visibility for Walkthrough Applications. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics 2003.
http://citeseer.nj.nec.com/rd/37902542%2C541831%2C1%2C0.25%2CDownload...pdf/cohen-or00survey.pdf

Coors, V. und Zipf, A, (Hrsg.)(2004) 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. Wichmann - Hüthig Verlag: Heidelberg.

Cornelis De Waal (2002) On Mead, Wadsworth/Thomson Learning: Belmont, ISBN 0-534-58396-2

Cruz-Neira Carolina, Sandin J. Daniel, DeFanti A. Thomas (1993) Surround-screen projection-based virtual reality: the design and implementation of the CAVE, Proceedings of the 20th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, p. 135-142.

Cuttig J. E. (1997) How the Eye Measures Reality and Virtual Reality. Behavior Research Methods, Instruments and Computers, 29(1), pp. 27-36.

Darken R.P., Cevik H. (1999) Map Usage in Virtual Environments: Orientation Issues. Proceedings of IEEE Virtual Reality 99, pp. 133-140.

Däßler Rolf (2002): Visuelle Kommunikation mit Karten; in Updates – visuelle Medienkompetenz, Hrsg: Arthur Engelbert, Manja Herlt; Königshausen & Neumann, ISBN: 978-3826023699.

Denil M. (2003) cartographic design: rhetoric and persuasion, in cartographic perspectives, journal of the North American Cartographic Information Society, nr.45, spring.

Dobler, M. (2001): Symbolisierung und Visualisierung von ausgewählten Landschaftselementen in 3D-Karten. Vertiefungsblock, Institut für Kartographie, ETH Zürich.

Döllner Jürgen (2000) Software-Architektur computergrafischer Systeme. Habilitationsschrift; Fachbereich Mathematik und

Informatik; Westfälische Wilhelms-Universität Münster; Münster.

Döllner Jürgen (2007) Real-Time Virtual Landscapes; in Cartwright W., Peterson M.P., Gartner G. (Hrsg.) Multimedia Cartography; 2. Aufl.; Springer-Verlag: Berlin, Heidelberg.

Dransch D. (1997) Medienpsychologische Aspekte beim Einsatz von Multimedia in GIS. Kartografische Schriften 2. Kirschbaum Verlag: Bonn.

Dransch Doris (2002) Handlungsorientiere Mensch-Computer-Interaktion für die kartographische Informationsverarbeitung in Geo-Informationssystemen. Habilitationsschrift am Fachbereich Geowissenschaften der Freien Universität Berlin. Selbstverlag Fachbereich Geowissenschaften, Freie Universität Berlin, ISBN 3-89582-989-7.

Duda O. Richard, Hart E. Peter, Stork G. David (2001) Pattern classification. Wiley, New York, ISBN 0-471-05669-3

ECAI, Electronic Cultural Atlas Initiative, http://www.ecai.org/, Stand: 08.02.2006.

Egenhofer M., Mark D. (1995) Naive Geography; COSIT 95, Semmering, Austria, in Frank A., Kuhn W. (Hrsg.) Lecture Notes in Computer Science, Vol. 988, Springer-Verlag, S. 1-15.

Elvins T.T. (1997) Virtually Lost in Virtual Worlds – Wayfinding Without a Cognitive Map, in Computer Graphics, August 1997.

EPOCH, European Research Network on Excellence in Processing Open Cultural Heritage, http://www.epoch-net.org/, Stand: 08.02.2006.

Feltovich P., Hoffmann R., Woods D., Roesler A. (2004) Keeping it too simple: how reductive tendency affects cognitive engineering. IEEE Intelligent Systems, May/June 2004: 90-94.

Fernandes J. Kiran, Raja Vinesh, Eyre Julian (2003) Cybersphere: the fully immersive spherical projection system, Communications of the ACM, v.46 n.9, September 2003.

Foley D. James, Van Dam Andries, Feiner K. Steven, Hughes F. John, Philips L. Richard (1994) Introduction to Computer Graphics, Addison-Wesley: Massachusetts, US, ISBN 0-201-60921-5

Foley J., Gibbs Ch., Kim W. Ch., Kovacevic S. (1988). A Knowledge Based User Interface management System. In: Proceedings CHI ´88, ACM, pp. 67-72, May 1988.

Foley J.D., A. van Dam, S.K. Feiner, J.F. Hughes (1995) Computer Graphics – Principles and Practice. Addison-Wesley Publishing Company, Reading/Menlo Park/New York.

Foscht T. (1998) Interaktive Medien in der Kommunikation: verhaltenswissenschaftliche und systemtheoretische Analyse der Wirkung neuer Medien, 1. Auflage, Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 1998.

Frick, R., Ch. Graber, S. Marty u. M. Sommer (2001): Satztechnik und Typologie. Band 5: Typologie am

Frindte Wolfgang (2001). Einführung in die Kommunikationspsychologie. Weinheim/Basel: Beltz.

Frühauf N. (2007) Physikalische Eigenschaften von Flüssigkristall-Zellen, Arbeitsunterlagen zum Grundlagenpraktikum, Institut für Systemtheorie und Bildschirmtechnik, Universität Stuttgart.

Gardner Howard (1989) Dem Denken auf der Spur (KI als Teil der interdisziplinären Kognitionswissenschaft), Stuttgart, ISBN 3-608-93099-X.

Gegenfurtner R. Karl, Walter Sebastian, Braun I. Doris (2001) Visuelle Informationsverarbeitung im Gehirn, Abteilung Allgemeine Psychologie, Justus-Liebig-Universität, Gießen.

Glander Tassilo, Döllner Jürgen (2007) Techniques for Generalizing Building Geometry of Complex Virtual 3D City Models, 2nd International Workshop on 3D Geo-Information.

Goertz, Lutz (1995). Wie interaktiv sind die Medien? Auf dem Weg zu einer Definition von Interaktivität. In: Rundfunk und Fernsehen. 43. Jahrgang 1995/4: S. 477-493.

Goldstein E. Bruce (2002) Wahrnehmungspsychologie, 2. Auflage, Ritter M. (Hrsg.) Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg-Berlin.

Goleman Daniel (1996). Emotionale Intelligenz. Hanser-Verlag, München. ISBN 3-446-18526-7 .

Golledge R. (1999) (ed) Human Wayfinding and Cognitive Maps. Wayfinding Behavior; The John Hopkins University Press: Baltimore, S. 5-46.

Gooch Bruce, Gooch Amy (2001) Non-Photorealistic Rendering, A K Peters: Natick, US, ISBN 1-56881-133-0

Görz, Rollinger, Schneeberger (2003). Handbuch der Künstlichen Intelligenz. 4. Aufl., Oldenbourg, ISBN 3486272128.

Graf K.C. (1995) Realistic Landscape Rendering using Remote Sensing Images, Digital Terrain Models and 3D Objects. Remote Sensing Series, Vol. 25, Remote Sensing Laboratories, Department of Geography, University of Zurich. Zürich.

Greenberg, B. S. (1964) Person-to-Person Communication in the Diffusion of new Events In: Journalism Quarterly, Vol. 41, S.

489-493.

Gregory R.L. (2001) Auge und Gehirn. Psychologie des Sehens. Rowohlt: Reinbeck.

Grosser K., Schoppmeyer J. (2001) Farbanwendung in der Kartographie. In: Bollmann, J., W.G. Koch (Hrsg.): Lexikon der Kartographie und Geomatik in zwei Bänden, Band 1, A bis Karti. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin. 220–224.

Gründemann Thomas (2004) Herstellung einer Echt-3D-Hochgebirgskarte auf der Basis des Lentikularverfahrens, Diplomarbeit, Institut für Kartographie, TU Dresden.

Häberling Christian (1999) Symbolization in topographic 3D-maps – conceptual aspects for user-oriented design. Proceedings of the 19th ICA Conference, Ottawa, S. 1037-1044.

Häberling Christian (2000) Topographische 3D-Karten: Konzeption und Gestaltungsvariablen. IfGI-Prints, Band 8, Münster, S. 59-76.

Häberling Christian (2003) «Topografische 3D-Karten»: Thesen für kartografische Gestaltungsgrundsätze, Dissertation an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Diss. ETH Nr. 15379, Zürich.

Hake G., Grünreich D. (1994) Kartographie, 7. Auflage. Walter de Gruyter Verlag, Berlin/ New York.

Hake G., Grünreich D., Meng L. (2002): Kartographie – Visualisierung raum-zeitlicher Information; Walter de Gruyter, Berlin-NewYork.

Hardt S. (1992) Naïve Physics, in: S. Shapiro (Ed.), Encyclopedia of Artificaial Intelligence. Second Edition. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2:1147-1149.

Hartmut Yersin (Hrsg.)(2007) Highly Efficient OLEDs with Phosphorescent Materials. Wiley-VCH, ISBN 3-527-40594-1

Hasebrook, J. (1995): Multimedia-Psychologie. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum Akademischer Verlag.

Hatcher A. (2002) Algebraic Topology. Cambridge University Press, ISBN 0-521-79540-0.

Heckbert Paul (1989) “Fundamentals of Texture Mapping and Image Warping”, Master’s Thesis, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of California, Berkeley, CA.

Heiß P. (1995) Die neue Holographie-Fibel; Wittig Fachbuchverlag, Hückelhoven.

Henning A.Peter (2000) Taschenbuch Multimedia. Carl Hanser Verlag: München, Wien. ISBN: 3-446-21274-4.

Herczeg M. (1994) Software – Ergonomie Grundlagen der Mensch-Computer-Kommunikation, 1 Aufl., Addison-Wesley, Bonn.

Höhl Wolfgang (2007) Augmented Reality (AR) für die Architekturvisualisierung mit DART 2.0 und 3D Studio MAX 7; Proceedings REAL CORP 007; Manfred SCHRENK (Hrsg.); Wien, ISBN: 978-39502139-3-5.

Hölzel F. (1963) Perspektivische Karten. In: Imhof, E. (Hrsg.) (1963): Internationales Jahrbuch für Kartographie, 3. Gütersloh. 100–118.

Höppner Erik (2000) Grundlagenuntersuchungen zur Chromostereoskopie und deren Anwendung für die Herstellung chromostereoskopischer Karten dargestellt am Beispiel des Raumes Schladming, Österreich; Seminararbeit, Institut für Kartografie, TU Dresden.

Hornbeck L. J. (1998) From cathode rays to digital micromirrors: A history of electronic projection display technology; in Texas Instruments Technical Journal, Vol. 15, No. 3, S. 7-46.

Horsky, D./Simon, L. S. (1983) Advertising and the Diffusion of New Products. In: Marketing Science, 2 (1), 1983, S. 1-17.

Ibrahim K.F. (2007) Newnes Guide to Television and Video Technology, The Guide for the Digital Age – from HDTV, DVD and flat-screen technologies to Multimedia Broadcasting, Mobile TV and Blue Ray, 4. Ausgabe, Newnes, ISBN: 978-0750681650

Imhof, E (1963) Kartenverwandte Darstellungen der Erdoberfläche – eine systematische Übersicht. In: Imhof, E. (Hrsg.) (1963): Internationales Jahrbuch für Kartographie, 3. Gütersloh. 54–99.

Jenkin Michael, Harris Laurence (2001) Vision and Attention; Springer Verlag: New York, Berlin, Heidelberg; ISBN 0-387-95058-3.

Jobst Markus, Wurm Beatrix (2007): (ICA Beitrag – Meßmethoden gesellschaftlicher Bildwirkung).

Jobst Markus,Twaroch Florian (2006) An Evaluation Method for Determining Map-Quality; Talk: 12th International Symposium on Spatial Data Handling, Vienna; 07-12-2006 - 07-14-2006; in: "Progress in Spatial Data Handling", A. Riedl, W. Kainz, G. Elmes (ed.); Springer, Berlin Heidelberg New York (2006), ISBN: 3-540-35588-x; 293 – 304.

Jobst Markus, Lubanski Olaf (2005) ACCESS AND USAGE OF ARCHAEOLOGICAL-ARCHITECTURAL ON-SITE FINDINGS WITH CARTOGRAPHIC PRESENTATION METHODS; Talk: International Symposium of CIPA, Turin; 09-26-2005 - 10-01-2005; in: "International cooperation to save the world´s cultural heritage", (2005), 871 - 875.

Jonassen D.H., Grabowski B.L. (1993) Handbook of Individual Differences; Learning and Instruction; Lawrence Erlbaum

Associates: Hillsdale, N.Y.

Jones C. (1997) Geographical Information Systems and Computer Cartography. Addison Wesley Longman, Essex.

Joseph Shinar (Hrsg.)(2004) Organic Light-Emitting Devices: A Survey. Springer, New York, ISBN 0-387-95343-4

Kahn Paul, Lenk Krysztof (2001): Mapping Web Sites; Rotovision.

Karner Konrad, Hesina Gerd, Maierhofer Stefan, Toler Robert F. (2006) Improved reconstruction and rendering of cities and terrains based on multispectral digital aerial images; Proceedings CORP 2006 & Geomultimedia06; Manfred SCHRENK (Hrsg.); Wien, ISBN 978-3-9502139-0-4.

Katz Elihu, Levin M. L., Hamilton H. (1963) Traditions of Research on the Diffusion of Innovation. In: American Sociological Review. Vol. 28, S. 237-252.

Kirschenbauer Sabine (2004) Empirisch-kartographische Analyse einer echt-dreidimensionalen Darstellung am Beispiel einer topographischen Hochgebirgskarte; Dissertation; Technische Universität Dresden; Mensch&Buch Verlag: Berlin.

Kobzina Monika (2006). Grundlagen der Kommunikationswissenschaft, Universität Wien, Wien.

Kolácny A. (1969) Cartographic Information – a fundamental concept and term in modern cartography. Cartographic Journal, 6, 47-49.

Kolácny A. (1970) Kartografische Information – ein Grundbegriff und Grundterminus der modernen Kartographie. In: Kirschbaum, G.M. a. K. H. Meine (Hrsg.): Internationales Jahrbuch für Kartographie. Kirschbaum: Bonn. S. 186-193.

Komm1: Kommunikationsdesign, http://kommdesign.de, Stand: 21.11.2007.

Kraak M. J., Ormeling F. J. (1996) Cartography, visualization of spatial data. Longman: Essex.

Kraak M.J. (1988) Computer-assisted cartographical three-dimensional imaging techniques. Delft University Press, Delft.

Kraus Karl (1994) Photogrammetrie Band 1, Grundlagen und Standardverfahren, 5. Auflage, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.

Kroeber-Riel Werner (1993): Bildkommunikation, Imagerystrategien für die Werbung. München.

Kroeber-Riel, W., Esch, F.-R. (2000) Strategie und Technik der Werbung, 5. Aufl., Kohlhammer Verlag, Stuttgart.

Kuipers B., Levitt T. (1988) Navigation and Mapping in Large-Scale Space. AI Magazine 9(2): 25-46.

Lacy Stephen (1989). The Westley-MacLean Model Revisited: An Extension of a Conceptual Model for Communication Research, School for Journalism, Michigan State University, Michigan, USA.

Lakoff George, Johnson Mark (1980) Metaphors We Live By. University of Chicago Press: Chicago.

Lance Williams (1991) Shading in Two Dimensions. Graphics Interface ’91, pages 143–151.

Laurel Brenda (1993) Computers as Theatre; Addison-Wesley: New York, London, Tokyo; ISBN 0-201-55060-1.

Lechthaler Mirjanka, Stadler Alexandra (2006) „Cross Media“ gerechte Kartengrafik in einem AIS. In: Proceedings CORP 2006 & Geomultimedia06; Manfred SCHRENK (Hrsg.); Wien, ISBN 978-3-9502139-0-4.

Lindén, A., Davies, R.C., Boschian, K., Minör, U., Olsson, R., Sonesson, B., Wallergård, M. and Johansson, G. (2000) Special considerations for navigation and interaction in virtual environments for people with brain injury. Proc. 3rd Intl. Conf. Disability, Virtual Reality and assoc. Tech. (ICDVRAT), Alghero, Italy, 287-296. ISBN 0 7049 1142 6

Lorenz H., Trapp M., Döllner J., Jobst M. (2008) Interactive Multi-Perspective Views of Virtual 3D Landscape and City Models; in: "The European Information Society, Taking Geoinformation Science One Step Further"; Bernard, Lars; Friis-Christensen, Anders; Pundt, Hardy (Eds.); Springer, Berlin, 2008, ISBN: 978-3-540-78945-1.

Lorenz Mario, Wenisch Marco, Heymann Michael (2007) 3D Grafik und Virtuelle Realität, Vorlesungsunterlagen, Fakultät für Informatik, Professur Computergrafik & CA-Techniken, TU Chemnitz.

Lovelace K. L., Hegarty M., Montello D. R. (1999) Elements of Good Route Directions in Familiar and Unfamiliar Environments; in C. Freksa, D.M. Mark (Eds.): COSIT’99, LNCS 1661, pp. 65-82, 1999, Berlin: Springer Verlag.

Luhmann N. (1986) Ökologische Kommunikation. Opladen: Westdeutscher Verlag.

Luhmann Niklas (1990) Die Wissenschaft der Gesellschaft. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.

Lynch K. (1960) The Image of the City. MIT Press, Cambridge, 194 pp.

Maaß S., Döllner J. (2006) Ein Konzept zur dynamischen Annotation virtueller Stadtmodelle. In: DGfK (Hrsg.), Aktuelle Entwicklungen in Geoinformation und Visualisierung. Beiträge d. Seminars GEOVIS 2006, Potsdam (= Kartogr. Schriften, 10).

Maaß, S., Jobst M., and Döllner J. (2007-A) Depth Cue of Occlusion Information as Criterion for the Quality of Annotation Placement in Perspective Views. 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Aalborg, Denmark.

Maaß, S., Jobst M., and Döllner J. (2007-B) Use of Depth Cues for the Annotation of 3D Geo-Virtual Environments. 21. Internationale Konferenz der Internationalen Kartografischen Gemeinschaft (ICA), Moskau, Russland.

Macaulay David, Ardley Neil (1988) *Macaulay's Mammut-Buch der Technik*, Tessloff Verlag, Nürnberg.

MacEachren A. M. (1995) How Maps Work: Representation, Visualization and Design, New York : Guilford Press.

MacEachren A. M., Taylor D. R. F. (1994) Visualization in Modern Cartography, 1.Auflage, New York, Elsevier.

Mackinlay Jock (1986) Automating the Design of Graphical Presentations of Relational Information. *ACM Transactions of Graphic*, 5(2):111-141.

Maletzke Gerhard (1963). Psychologie der Massenkommunikation, Hamburg.

Malić Brankica (1998) Physiologische und technische Aspekte kartographischer Bildschirmvisualisierung; Dissertation; Schriftenreihe des Instituts für Kartographie und Topographie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Marcus A., vanDam A. (1991). User Interface Development for the Ninties, in: Computer, IEEE, pp. 47-57, September 1991.

Marr D. (1982) Vision – A Computational Investigation into the Human Representation and Processing of Visual Information. W.H. Freeman and Company, San Francisco.

Mayer H. (2000) Einführung in die Wahrnehmungs-, Lern- und Werbe-Psychologie; Oldenburg Wissenschaftsverlag: Oldenburg.

Mayer, J.D., Salovey, P., Caruso, D.R. (2004). Emotional Intelligence: Theory, Findings and Implications, Psychological Inquiry, 15, 197-215.

Meggle Georg (1997) Grundbegriffe der Kommunikation. - 2. Auflage. - Berlin/New York, (1. Aufl. 1981).

Meng L., Reichenbacher T., Zipf A. (2005) Map-based Mobile Services – Theories, Methods and Implementations, Berlin-Heidelberg-New York, Springer-Verlag.

Meng L. (2002): Abstraktion und Generalisierung von Geodaten – Ein Reverse-Engineering-Verfahren zum Aufbau des DLM50_k. In Tagungsband 2. Hamburger Forum für Geomatik, 2002.

Merten Klaus (1977): Kommunikation, Eine Begriffs- und Prozeßanalyse. Opladen.

Merten Klaus (1999): Einführung in die Kommunikationswissenschaft; in Aktuelle Medien- und Kommunikationsforschung, Bd.: Grundlagen der Kommunikationswissenschaft 1999. Lit-Verl., Münster.

Merten Klaus, Schmidt J. Siegfried, Weischenberg Siegfried (1994): Die Wirklichkeit der Medien, Eine Einführung in die Kommunikationswissenschaft. Bonn.

Mikos Lothar, Wegener Claudia (2005) Qualitative Medienforschung – ein Handbuch; UVK Verlagsgesellschaft mbH: Konstanz.

Möller Thomas, Haynes Eric (2002) Real-Time Rendering; 2.Aufl., AK Peters: US; ISBN 1-56881-101-2.

Morgenstern D., Schürer D. (1999) A Concept for model generalization of digital landscape models from finer to coarse resolution. 19th International Cartographic Conference, 1021-1928.

Mrotzek R. (2000) Projektionstechnik – Grundlagen; MedieScript-Verlag, Herzogenrath.

Müller Marion G. (2003) Grundlagen der visuellen Kommunikation – Theorieansätze und Analysemethoden; UVK Verlagsgesellschaft mbH: Konstanz; ISBN 3-8252-2414-7.

Müller Stephane (2002): Bildkommunikation als Erfolgsfaktor bei Markenerweiterungen. Wiesbaden.

Nebiker Stephan (2003). Support for Visualisation and Animation in a scaleable 3D GIS Environment – Motivation, Concepts and Implementation. Commission V, WG V/6; International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXIV-5/W10.

Neisser Ulrich (1996) Kognition und Wirklichkeit. Stuttgart: Klett-Cotta, ISBN 3-608-91808-6.

Neubauer, A. (1995) Intelligenz und Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung. Wien: Springer. ISBN 3-211-82735-8

Neudeck Stefan (2001) Zur Gestaltung topografischer Karten für die Bildschirmvisualisierung; Dissertation; Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen; Schriftenreihe des Studiengangs Geodäsie und Geoinformation; Heft 74/2001; Universität der Bundeswehr München, Neubiberg.

Nienhaus Marc (2005) Real-Time Non-Photorealistic Rendering Techniques for Illustrating 3D Scenes and their Dynamics; Dissertation; Universität Potsdam; Potsdam.

Nivala, A.-M. (2005) User-centred design in the development of a mobile map application. Licentiate Thesis. Helsinki University of Technology, Department of Computer Science and Engineering: Helsinki, 74p.

Otto, J.H., Euler, H.A. & Mandl, H. (2000): Emotionspsychologie. Ein Handbuch, Beltz: Weinheim.

Paivio Allan (1986). Mental representations: a dual coding approach. Oxford University Press, Oxford. England.

Palmer S. (1999) Vision Science: Photons to Phenomenology, MIT Press, ISBN, 978-0262161831.

Panyr J. (1986). Automatische Klassifikation und Information Retrieval, Tübingen.

Patterson Tom (2000) A View from on High: Heinrich Berann's Panoramas and Landscape Visualization Techniques for the U.S. National Park Service. Cartographic Perspectives. No. 36, Spring 2000, pp. 38-65.

Petersen Anita (2002). Interpersonale Kommunikation im Medienvergleich. Waxmann Verlag, Münster/New York/München/Berlin.

Peterson M. P. (1995) Interactive and animated cartography. Prentice-Hall: London.

Petrovic D. (2001) Three-dimensional mountain map. Proceedings of the 20th International Cartographic Conference ICC, Beijing, China, Vol. 5. 3392–3399.

Pharr Matt, Humphreys Greg (2004). Physically Based Rendering : From Theory to Implementation. Morgan Kaufmann. ISBN 0-12-553180-X.

Piaget Jean (2003) Meine Theorie der geistigen Entwicklung; Reinhard Fatke (Hrsg.), aus dem Amerikanischen von Hainer Kober; Beltz Verlag: Weinheim, Bsel, Berlin.

Poggio T. (1987) Wie Computer und Menschen Sehen. In: Wahrnehmung und Visuelles System. Sprektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH & Co, Heidelberg.

Pross Harry (1972) Medienforschung – Film, Funk, Presse, Fernsehen; Darmstadt: Habel.

Pulfrich, C. (1922) Die Stereoskopie im Dienste der isochromen und heterochromen Photometrie. Die Naturwissenschaften 10 Juni–September Ausgaben (Teil I = Heft 25, pp. 553–564; Teil II = Heft 26, pp. 569–574; Teil III = Heft 27, pp. 596–601; Teil IV = Heft 33, pp. 714–722; Teil V = Heft 34, pp. 735–743; Teil VI = Heft 35, pp. 751–761).

Raible Wolfgang (1991) Die Semiotik der Textgestalt. Erscheinungsformen und Folgen eines kulturellen Evolutionsprozesses. Heidelberg: Carl Winter Universitätsverlag.

Raskin Jef (2000) The Humane Interface – New Directions for Designing Interactive Systems; Addison-Wesley: Boston, New York, London, Tokyo; ISBN 0-201-37937-6.

Reichenbacher Tumasch (2003) Mobile Cartography - Adaptive Visualisation of Geographic Information on Mobile Devices; Dissertation; Technische Universität München.

Riemschneider E. Burkhard (1995) Interactive Pictures, Volume I und II , Panvision, Taschen Verlag, ISBN 3-8228-8852-4

Robinson A., Petchenik B. (1976) The Nature of Maps. The University of Chicago Press: Chicago.

Robinson A.H. (1953) The Look of Maps. University of Wisconsin Press: Madison.

Rock I. (1998) Wahrnehmung – Vom visuellen Reiz zum Sehen und Erkennen. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin.

Rød J. K. (2004) cartographic signs and arbitrariness, in Cartographica the international journal for geographic information and geovisualization, vol.39#4.

Russell Stuart, Norvig Peter (2002) Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2. Auflage, 2002, Prentice Hall.

Sänger, K. (2000): Umsetzung einer topographischen Karte in 3D mit Software 3D Studio Max am Beispiel der Hohen Salve (Tirol). Diplomarbeit, Fachhochschule München, Studiengang Kartographie, Vermessungswesen und Kartographie.

Schattschneider Doris, Emmer Michele (eds.) (2003) M.C. Escher's legacy: a centennial celebration; collection of articles coming from the M.C. Escher Centennial Conference in Rome 1998. Berlin; London: Springer-Verlag. ISBN 3-540-42458-X.

Scheurer A. (2000) SID-2000 – Neues von der Displayfront. In: Network GmbH (Hrsg.): Konferenzband zur 15. Electronic Displays 2000, Berlin, S. 10-15.

Schmidbauer Manfred (2004) Das kreative Netzwerk – wie unser Gehirn in Bildern spricht. Springer Verlag: Wien, New York; ISBN 3-211-20834-8.

Schober H. (1964) Das Sehen; Band II, Fachbuchverlag Leipzig.

Schulz v. Thun Friedemann (2001a)(orig. 1981). Miteinander reden. Störungen und Klärungen. Bd. 1, Reinbek: Rowohlt.

Schuster Martin (2000): Kunstpsychologie, Kreativität, Bildkommunikation, Schönheit. Schneider Verlag, Hohengehren, ISBN-13: 978-3896762184.

Schwarz-Friesel M. (2007) Sprache und Emotion. Stuttgart: UTB.

Schweiger Günter, Schrattenecker Gertraud (2001). Werbung: Eine Einführung. 5. Aufl., Lucius und Lucius Verlag, Stuttgart.

Sester M. (2003): Verfahren der automatischen Dateninterpretation. Kartographische Schriften Band 7: Visualisierung und Erschließung von Geodaten. GEOVIS2003. S. 153-161.

Shannon Claude E., Weaver Warren (1949). The Mathematical Theory of Communication. Urbanna, III.

Shannon Claude E., Weaver Warren (1976) (orig. 1949). Mathematische Grundlagen der Informationstheorie. Oldenburg Verlag, München/Wien.

Sheldrake Rupert (1999). Der siebte Sinn der Tiere. Scherz Verlag 1999, S. 354-373.

SHIN Kwang Hoon (2007) "Flexible Display". In: US Patent & Trademark Office (Hrsg.): Patent Application Full Text and Image Database. 2006-12-22 (Stand: 2007-08-15).

Shinar Joseph (Hrsg.) (2004) Organic Light-Emitting Devices: A Survey. Springer, New York, ISBN 0-387-95343-4

Sorrows M.E., Hirtle S.C. (1999) The Nature of Landmarks for Real and Electronic Spaces, in Freksa C., Mark D. (eds.) Spatial Information Theory, International Conference COSIT 1999, Proceedings, Springer Verlag, p. 37-50.

Spiess E. (1991) Kartographie Grundzüge. Vorlesungsskript WS1991/92, Institut für Kartographie, ETH Zürich.

Spiess E. (1996) Attraktive Karten – Ein Plädoyer für gute Kartengraphik. In: Schweizerische Gesellschaft für Kartographie SGK (Hrsg.): Kartographie im Umbruch – neue Herausforderungen, neue Technologien. Kartographische Publikationsreihe, Nr. 14. 56–69.

Spiess, E., U. Baumgartner, S. Arn u. C. Vez (2002): Topographsiche Karten, Kartengraphik und Generalisierung. Schweizerische Gesellschaft für Kartographie (Hrsg). Kartographische Publikationsreihe Nr.16.

Stary Christian (1996). Interaktive Systeme – Software-Entwicklung und Software-Ergonomie, 2. Aufl., Vieweg&Sohn Verlagsges.m.b.H., Braunschweig/Wiesbaden.

Steffenhagen H. (2000) Wirkungen der Werbung: Konzepte-Erklärungen-Befunde., 2. Auflage, Aachen: Wissenschaftsverlag Mainz.

Strothotte Thomas, Schlechtweg Stefan (2002) Non-Photorealistic Computer Graphics – Modeling, Rendering, and Animation; Morgan Kaufmann Publishers, Elsevier Science: Amsterdam, New York, Tokyo, ISBN 1-55860-787-0

Stuart Russell, Peter Norvig (2002). Artificial Intelligence: A Modern Approach. 2. Aufl., Prentice Hall, Upper Saddle River.

Sucht1: Suchtverhalten; http://www.meduniqa.at/3004.0.html, 2007-11-11.

Sucht2: Suchtverhalten 2; http://www.isfb.org/stoffungebunden.html, 2007-11-11.

Suter M. (1997) Aspekte der interaktiven real-time 3D-Landschaftsvisualisierung. Remote Sensing Series Vol. 29, Remote Sensing Laboratories, Department of Geography University of Zurich, Zurich.

Taylor D. R. F. (2005) Cybercartography: Theory and Practice, 1,Auflage, Amsterdam, Verlag: Elsevier, ISBN-10: 0-444-51629-8.

Terribilini Andrea (2001) Entwicklung von Arbeitsabläufen zur automatischen Erstellung von interaktiven, verktorbasierten topographischen 3D Karten; Dissertation an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Diss. ETH Nr. 14387, Zürich.

Teschner H. (1991) Offsetdrucktechnik – Informationsverarbeitung, Technologien und Werkstoffe in der Druckindustrie. Fachschriftenverlag, Fellbach.

Thiemann, F. (2003) 3D-Gebäude-Generalisierung, in: Kartographische Schriften, Band 7, Visualisierung und Erschließung von Geodaten, Seminar GeoVIS 2003, 27.-28. Februar 2003, Hannover, S. 185 -192.

Tipler P. A. (1994) Physik, übersetzt nach der Amerikanischen Ausgabe, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.

Tufte Edward (1990): Envisioning Information, Graphics Press, Cheshire.

Turtschi R (2000) Mediendesign. Niggli; Sulgen.

Twaroch A. Florian (2007) Sandbox Geography, Dissertation am Institut für Geoinformation und Kartographie, TU Wien, Wien.

Virrantaus Kirsi (2005) internal research agenda of International Cartographic Association, http://www.icaci.org

VNS: Virtual Nature Studio, http://3dnature.com/, besucht am 8.5.2008.

Waelder O., Buchroithner M. (2007) Stereo Viewing of Lenticular Foil Displays: a Geometric Analysis; 21. Internationale Konferenz der Internationalen Kartografischen Gemeinschaft (ICA), Moskau, Russland.

Ware Colin (2000) Information Visualization. Perception for Design. Morgan Kaufmann, San Francisco.

Watzlawick Paul, Beavin H. Janet, Jackson D. Don (1969): Menschliche Kommunikation. Formen, Störungen, Paradoxien. Huber, Bern, ISBN-10: 3456834578.

Weaver Warren (1972) (orig. 1949). Recent Contributions to the Mathematical Theory of Communication. In: Shannon Claude E. & Weaver Warren (Hrsg.): The Mathematical Theory of Communication, S. 2-28, University Illinois Press, Chicago/London.

Webster E. Howard (2004) Better Displays with Organic Films. Scientific American, 290(2), S. 76.

Wehde Susanne (2000) Typographische Kultur. Eine zeichentheoretische und kulturgeschichtliche Studie zur Typographie und ihrer Entwicklung. Tübingen.

Williams Samuel, Shalf John, Oliker Leonid, Kamil Shoaib, Husbands Parry, Yelick Katherine (2007) Scientific Computing Kernels on the Cell Processor, in International Journal of Parallel Programming,Springer Science+Business Media, LLC.

Wolberg G. (1990) Digital Image Warping; IEEE Computer Society Press: Los Alamitos.

Wurm Beatrix (2006). Wirkungsforschung und Wirkungsmessung von Online-Werbung, Diplomarbeit, Institut für Handel und Marketing, Wirtschaftsuniversität Wien, Wien.

Yersin Hartmut (Hrsg.) (2007) Highly Efficient OLEDs with Phosphorescent Materials. Wiley-VCH, ISBN 3-527-40594-1

Zeki S. (1999) Inner Vision. An Exploration of Art and the Brain. Oxford University Press: Oxford, New York.

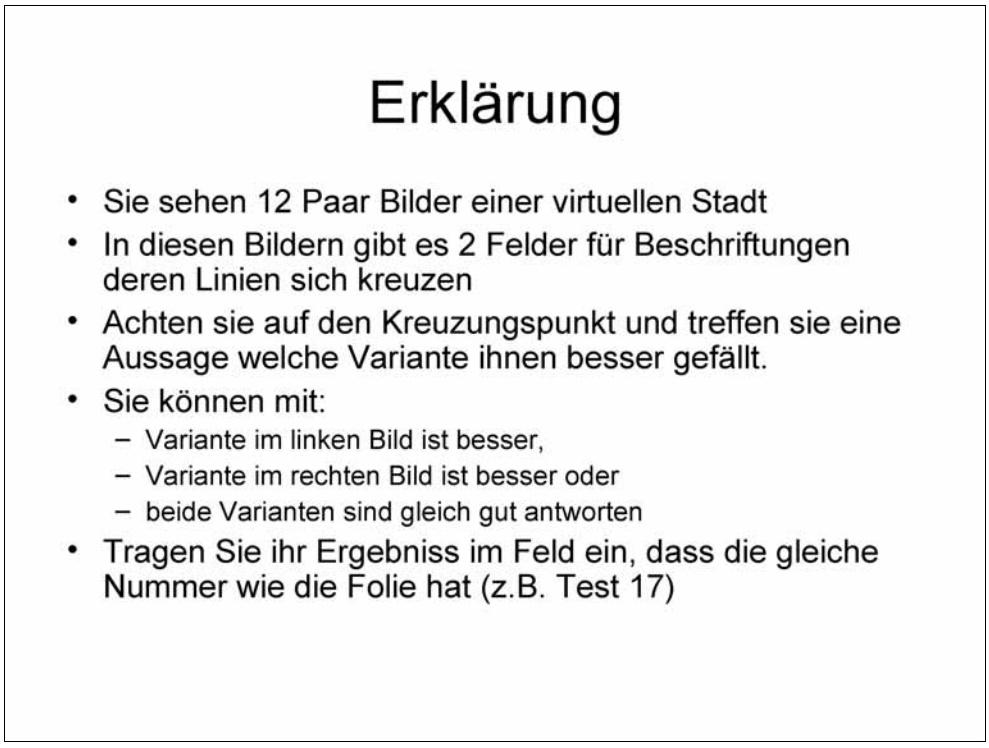
Zimbardo P. G. (1997). Psychologie. 5. Aufl., Springer Verlag, Heidelberg.

Zimbardo P.G. (1995) Psychologie; Springer Verlag: Heidelberg.

Zimbardo Philip G., Gerrig Richard J. (2003) Psychologie. Eine Einführung. Gebundene Ausgabe: Springer, Berlin, 7. A., ISBN 3-540-64633-7.

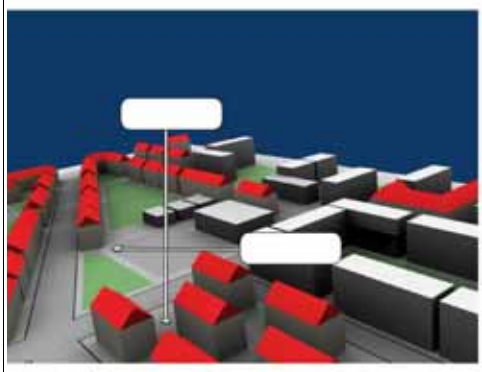
7 Anhang

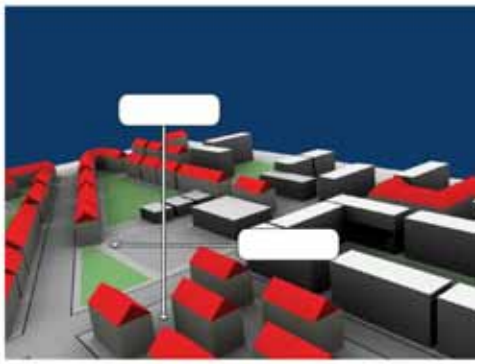
Anhang A – Nutzertest nach Maaß 2007-B



Beispiel Beispiel

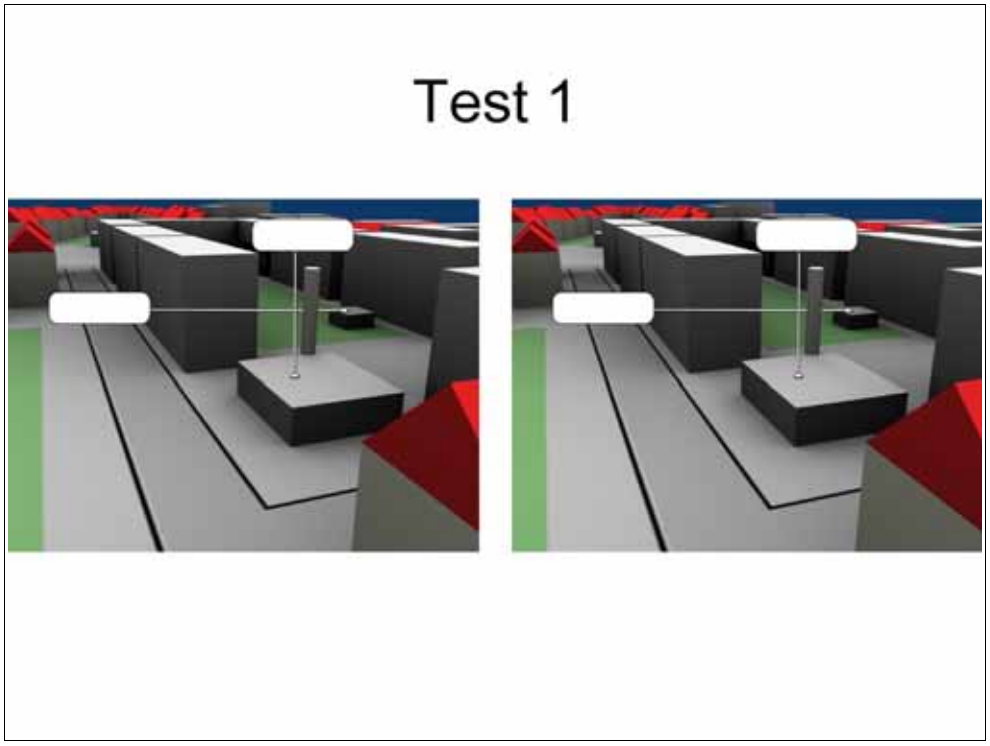
Test 42

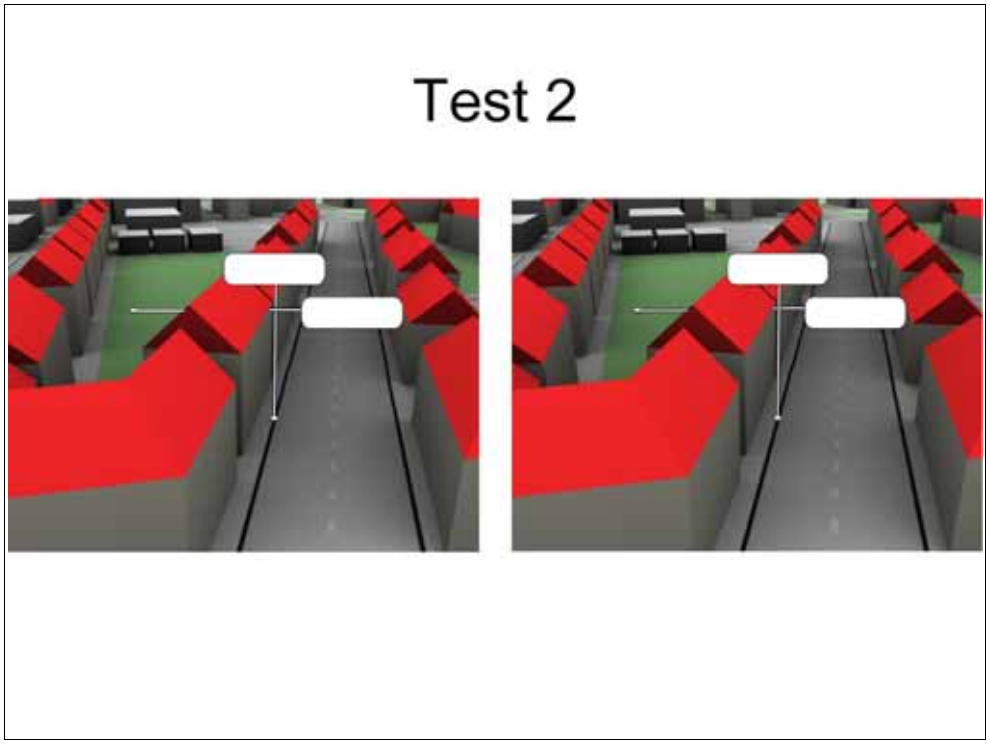


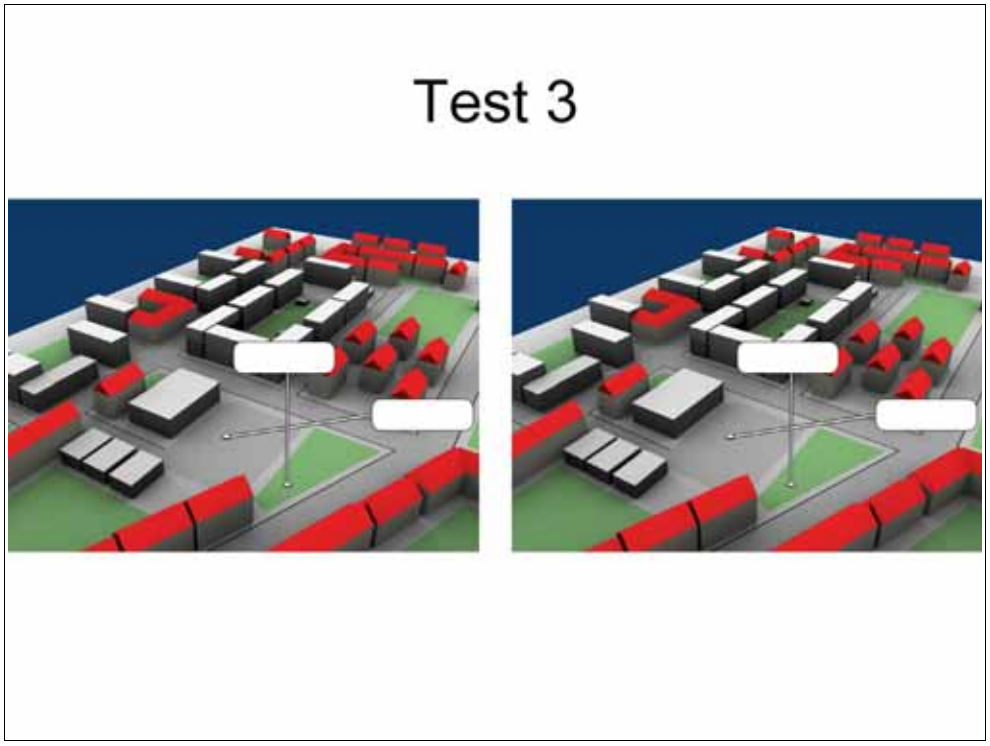


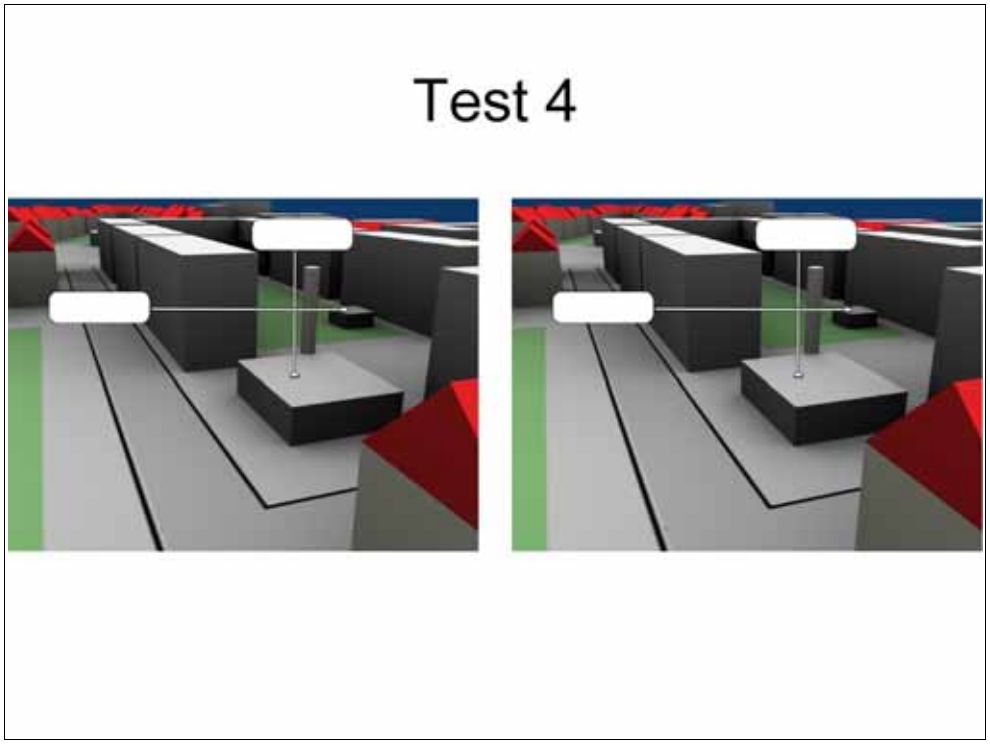
Beispiel Beispiel

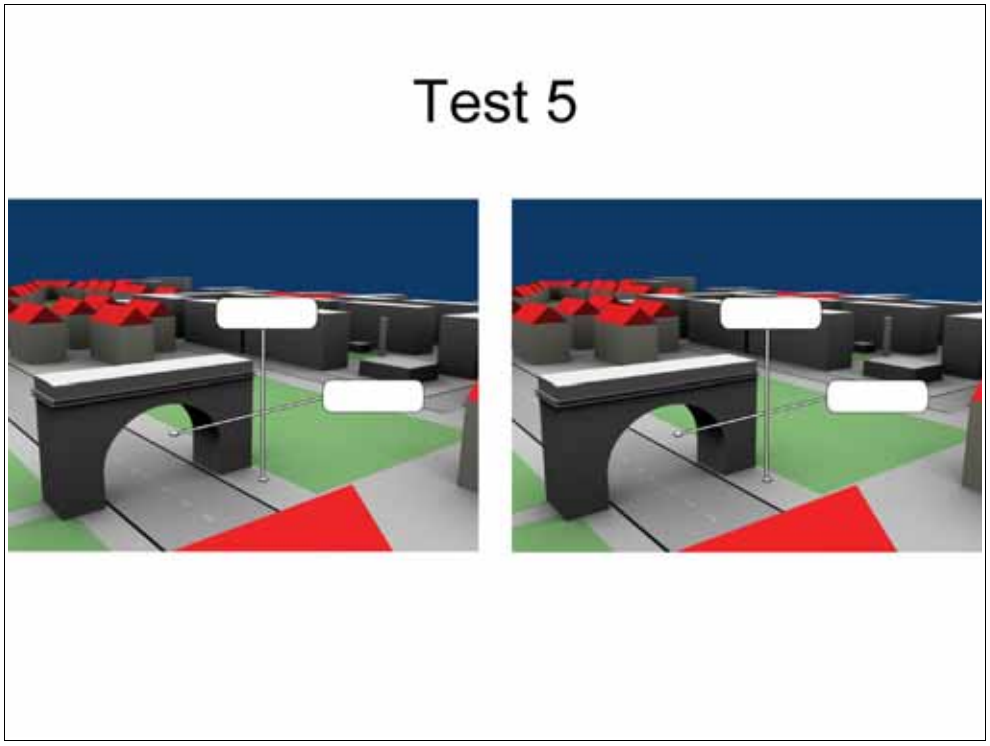
Los geht's

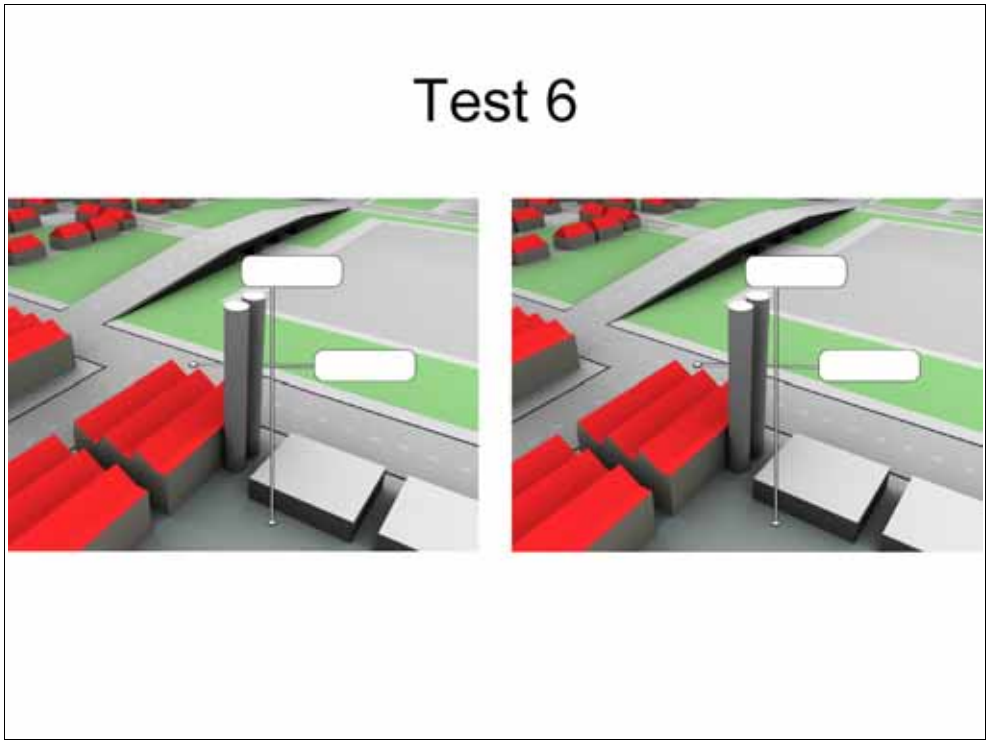

Test 1

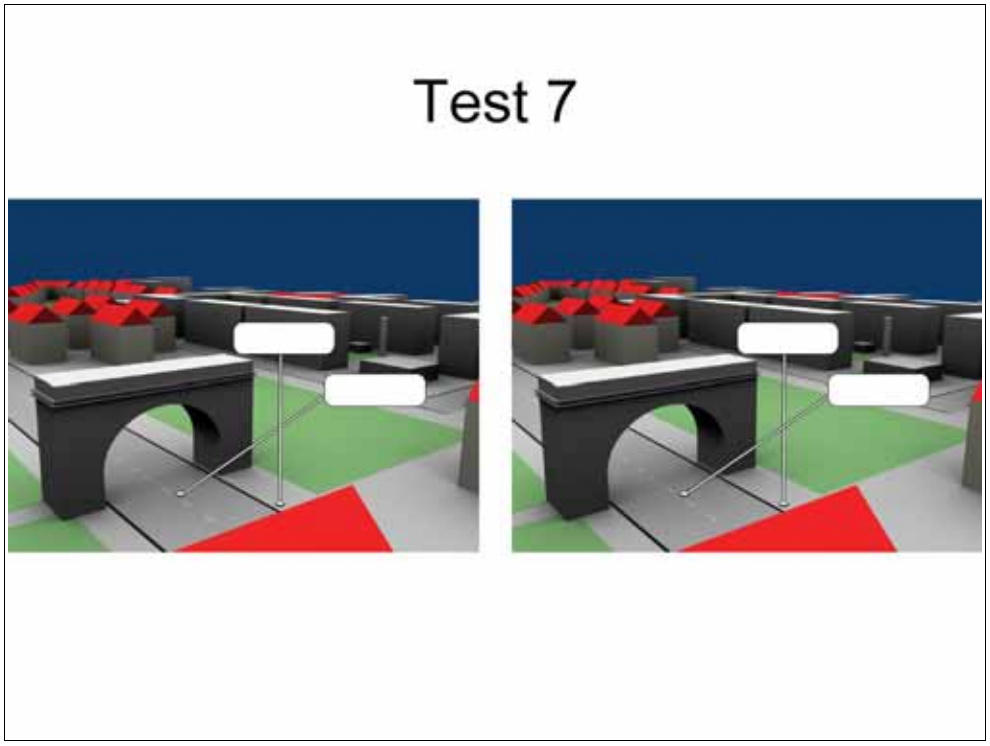

Test 2

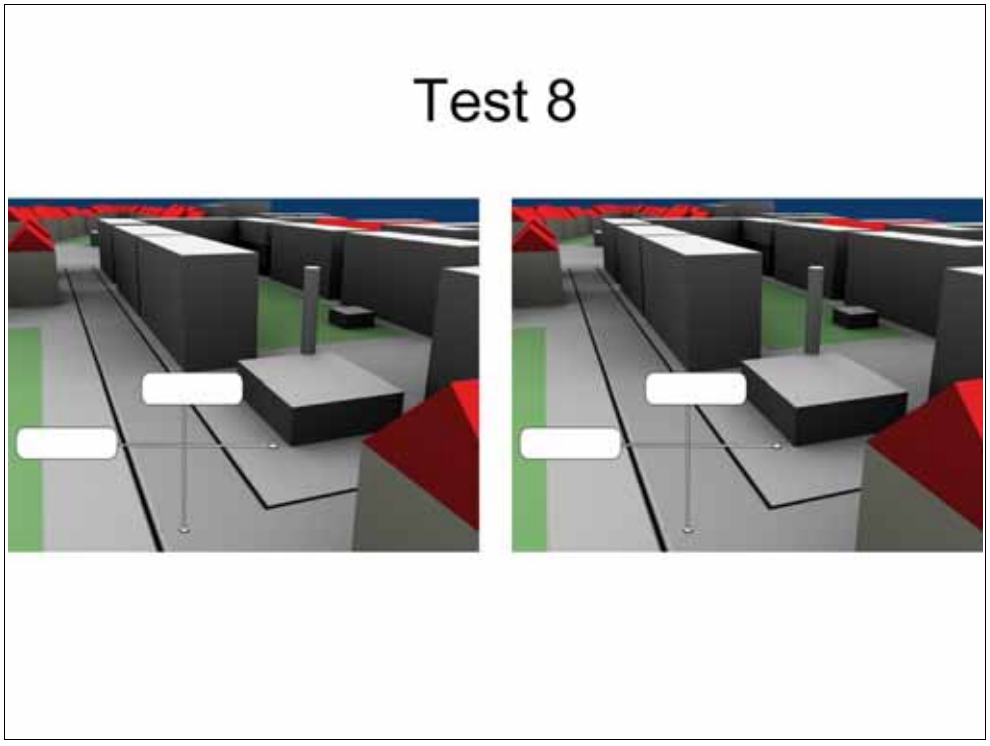

Test 3


Test 4

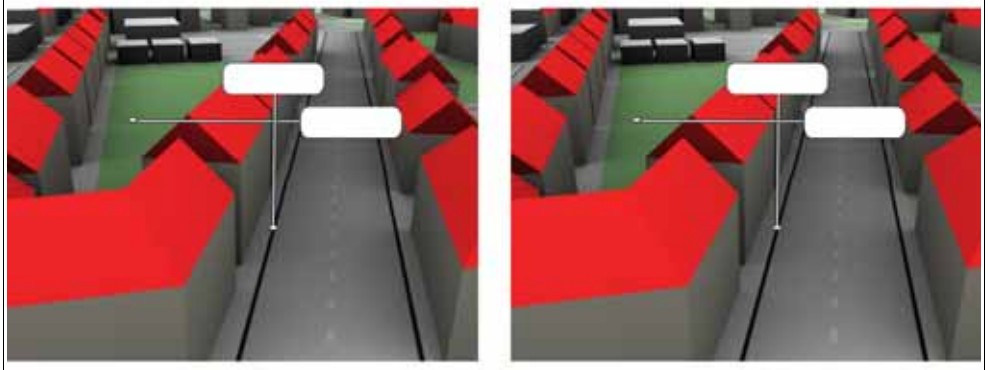

Test 5


Test 6

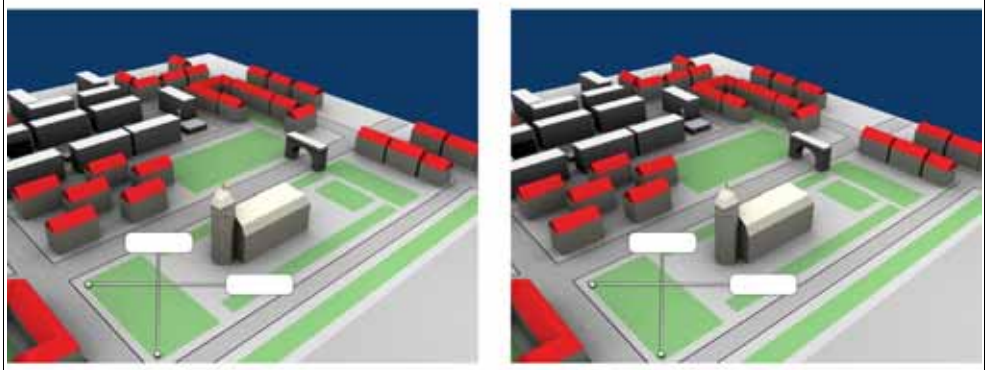

Test 7


Test 8

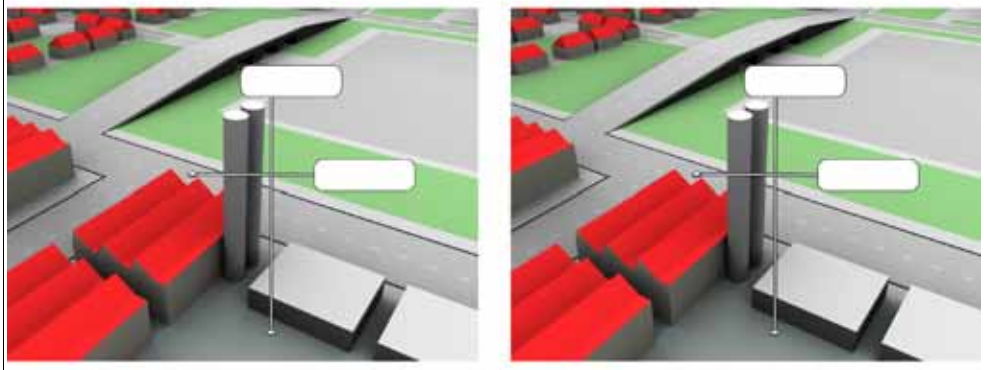
Test 9



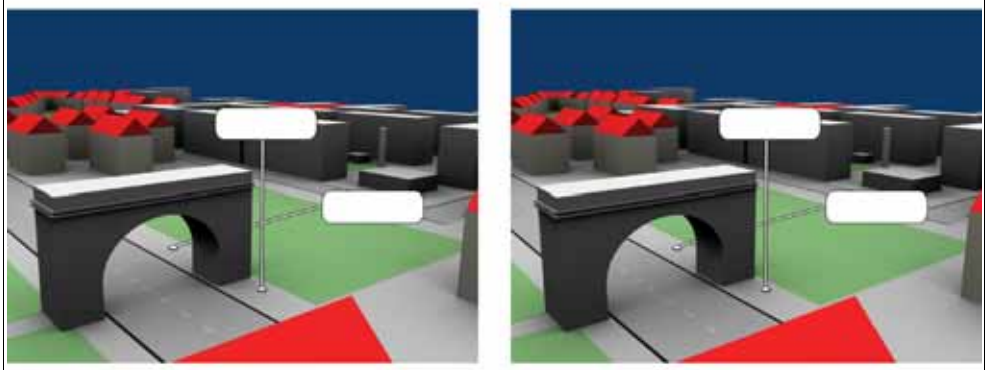
Test 10



Test 11



Test 12



Anhang B - Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Veränderung des Symbols Kreis mit verändernder Auflösung.
Abb. 2-2: Bildliches Beispiel zur Bildkommunikation.
Abb. 2-3: Westley/MacLean Model als schematische Darstellung, Lacy 1989.
Abb. 2-4: Relationen der vier Grundgrößen.
Abb. 2-5: Die bedeutensten psychologischen Modelle, Buzin 2001.
Abb. 2-6: Architektur wissensbasierter Benutzungsschnittstellen, Stary S.280.
Abb. 2-7: Genereller Kreislauf der kartografischen Kommunikation.
Abb. 2-8a, 2-8b: Escher's Relativity 1953, Escher's Waterfall 1961; Schrattschneider 2003.
Abb. 2-9: Nicht-fotorealistisches Rendering eines 3D Stadtmodells, Nienhaus 2005.
Abb. 2-10: Kommunikationskreislauf mit Wissenschaftsbereichen, basierend auf Brodersen 2001, MacEachren 1995, ICA 2003.
Abb. 2-11: Kommunikationserfolg nach Gartner.
Abb. 2-12: Kartografische Kommunikation nach MacEachren 1979.
Abb. 2-13: von Jobst modifizierter Würfel basierend auf MacEachren 1995.
Abb. 2-14: Kolácny´s Kommunikation der kartografischen Information, Kolácny 1969.
Abb. 2-15: Peterson´s Kartografische Kommunikation mit interaktiven Komponenten, Peterson 1995.
Abb. 2-16: Das Vermittlungsmodell nach Brodersen, Brodersen 2007.
Abb. 2-17: Das GeoKommunikations-Modell nach Brodersen, Brodersen 2007.
Abb. 2-18: Das Modell der Zustände nach Brodersen, Brodersen 2007.
Abb. 2-19: Die kartomediale Kommunikation nach Buzin, Buzin 2001.
Abb. 2-20: Kraak und Ormeling 1996.
Abb. 2-21: Kommunikationsmodell von Board 1967, Board 1967.
Abb. 2-22: Holist vs. Serialist, Brunner-Friedrich 2004.
Abb. 2-23: Aktiver und passiver Lerntyp, Brunner-Friedrich 2004.
Abb. 2-24: Die erste grafische Benutzungsschnittstelle des XeroxStar 8010 beinhaltete viele neue Metaphern.
Abb. 2-25: Technologieentwicklung als evolutionärer Prozess.
Abb. 2-26: Verarbeitungswege im Hirn. Schmidbauer 2004.
Abb. 2-27: Die Ergänzung von Bildern mit vorhandenem Wissen, Schmidbauer 2004.
Abb. 2-28: Schaltplan visueller Verarbeitung; Schmidbauer 2004.
Abb. 2-29: Foveale Repräsentation im visuellen Kortex. Gegenfurtner 2001.
Abb. 2-30: Physiologische Parameter des räumlichen Sehens, Kraus 1994, S. 166.

Abb. 3-1: Auflösungsbeziehung zwischen Auge, Übertragungsmedium und Informationsmittel.
Abb. 3-2: Innenseite des Bildschirms, Quelle: Søren Peo Pedersen, Wikipedia.
Abb. 3-3:Funktionsweise der Lochmaske, Wikimedia Commons.
Abb. 3-4:Schlitzmaske, Wikimedia Commons.
Abb. 3-5:Funktionsweise des LCD Bildschirms, Wikimedia Commons.
Abb. 3-6: Schema einer OLED, Wikimedia Commons.
Abb. 3-7: Nahaufnahme eines gealterten Monochrom-OLED-Displays, Wikimedia Commons.
Abb. 3-8: Abbildung eines Kartenbildes mit 200%, 100% und 50% Skalierung.
Abb. 3-9: Mindestgrößen von Flächen, Neudeck 2001, S. 64
Abb. 3-10: Chromostereoskopie, Quelle Lehrveranstaltung Buchroithner.
Abb. 3-11: Farbanaglyphen, Wikimedia Commons.
Abb. 3-12: Lentikularlinsentechnik, Quelle Lehrveranstaltung Buchroithner.

Abb. 3-13: Richtungsunabhängige Lentikularlinsentechnik, Quelle Lehrveranstaltung Buchroithner.
Abb. 3-14: Konzept der Holografie, Quelle Lehrveranstaltung Buchroithner.
Abb. 3-15: Konzept der Holografie 2, Quelle Lehrveranstaltung Buchroithner.
Abb. 3-16: Konzept e-Paper [http://www.eink.com/technology/howitworks.html]
Abb. 3-17: Beispiele e-Paper [http://www.eink.com/technology/howitworks.html]
Abb. 3-18: Prinzip des HMD und VRD, Wikimedia Commons.
Abb. 3-19: Humphrey II, AEC 2008.
Abb. 3-20: CAVE, AEC 2008b.
Abb. 3-21: Cybersphere, Fernandes 2003.

Abb. 4-1: Die Renderingpipeline.
Abb. 4-2: Die Rasterisierung.
Abb. 4-3: Abbildungsprinzip der zentralperspektiven Kamera, Catanese 2002.
Abb. 4-4: Abbildungsprinzip der orthografischen Kamera, Catanese 2002.
Abb. 4-5: Physiografische Karte nach bildhaften Prinzip, Arnberger 1993.
Abb. 4-6: 3D semiotisches Modell nach Jobst.
Abb. 4-7: Grundriss, Mischsituation, Aufriss.
Abb. 4-8: Änderung des Blickwinkels.
Abb. 4-9: Änderung der orthografischen Höhe.
Abb. 4-10: Progressive Perspektive.
Abb. 4-11: Progressive Parallelperspektive.
Abb. 4-12: Degressive Perspektive.
Abb. 4-13: Standardperspektiven eines 3D Stadtmodells. Hergestellt mit dem LandXPlorer System.
Abb. 4-14: Identifikation von toten Informationspixeln in einer Standardperspektive. Hergestellt mit LandXPlorer System.
Abb. 4-15: Konzept der progressiven Grundfläche; nach Lorenz et al 2008.
Abb. 4-16: Konzept der degressiven Grundfläche; nach Lorenz et al 2008.
Abb. 4-17: Progressives und degressives Beispiel; erstellt mit LandXPlorer System, nach Lorenz et al 2008.
Abb.4-18: Unterschiedliche Lichtsituationen mit und ohne Schatten, http://www.housepixels.com /aoimanual/ lights.html.
Abb. 4-19: „Schwebende Elemente“, Rock 1998.
Abb. 4-20: Zusammenstellung der Tiefenschärfe, http://www.housepixels.com /aoimanual /rendering.html#cameras.
Abb. 4-21: Eigenschaften graphischer Variablen; Karsten Hoffmann (2005), Entwurf nach BERTIN 1974.
Abb. 4-22: Beispiele zur Schätzgenauigkeit der Variable Größe.
Abb. 4-23: Verzerrungsfunktion und Wirkung von Verzerrungen, Terribilini 2001.
Abb. 4-24: Das Bildraum- und Modellraumverfahren, Maaß (2007).
Abb. 4-25: 2 Beispiele, die die Verdeckung übergehen, Maaß (2007).
Abb. 4-26: Beschriftungsverankerung, Maaß (2007).
Abb. 4-27: Änderung der Schriftgröße, Maaß (2007).
Abb. 4-28: Lesbarkeit vs. Tiefenwirkung, Maaß (2007).
Abb. 4-29: Testsituation für die Aspekte H1, H2, H3; Maaß (2007).

Curriculum Vitae

Name:	Markus Jobst
Geburtsdatum:	9. Februar 1972
Geburtsort:	Klagenfurt, Austria

Ausbildung:

1990 - 1991	Ausbildung zum Vermessungsoffizier, Österr. Bundesheer.
1993 - 1995	Künstlerische Volkshochschule für Fotografie, Wien, Österreich.
2003	Diplomstudium „Geoinformation und Vermessung“, Technische Universität Wien, Österreich.
2004 – 2008	Doktorarbeit

Relevante Tätigkeiten:

2000 - 2008	Inhaltliche Leitung des Betriebes Jobstmedia Präsentation Verlag, Österreich.
2003 - 2008	Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Geoinformation und Kartographie, Technische Universität Wien, Österreich.
2004 -	Vorsitzender der Arbeitsgruppe -"Open Source" in use for the Cultural Heritage communication process- innerhalb der CIPA/ICOMOS (cipa.icomos.org).
2005 - 2007	Eigenständige Durchführung des Projektes HYREP – Hybride Reproduktionstechnologien, finanziert vom “Hochschuljubiläumsfond der Stadt Wien”, H 1071 / 2004, Vienna.
2006-01	Forschungsaufenthalt am Institut für Kartographie, Technische Universität Dresden, Deutschland.
2006-10	Forschungsaufenthalt am Lehrstuhl für Computergrafische Systeme, Hasso-Plattner-Institut, Universität Potsdam, Deutschland.
2008 -	PostDoc Forschungsstipendium für “Service-Oriented Computer Systems” am Hasso Plattner Institut, Universität Potsdam, Deutschland.

Ausgewählte Workshops/Vorlesungen:

2003	Programmierworkshop “Carnuntum – Director 3D – hands on“, Kunde: Kommission für praktische Kartographie, Universität Bonn, DE.
2004	ICA Workshop „Contemporary Web-Mapping Technologies“, gemeinsam mit Prof. Georg Gartner, Kunde: NCC – National Cartographic Center Iran, Teheran, Iran.
2007	Internet and Telekartographie, VU, 2.0h, 2007S, Block-Seminar, Einladung der Technischen Universität Dresden, DE.
2006 - 2008	Geokommunikation und Multimediakartographie, VU, 2.0h, Technische Universität Wien, Österreich.
2006 - 2008	GeoMedientechnik, VU, 2.0h, Technische Universität Wien, Österreich.