

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Institut für Photogrammerie und Kartographie

Lehrstuhl für Kartographie

Nicht-Photorealismus in der Stadtmodellvisualisierung für mobile Nutzungskontexte

Dipl.-Ing. Mathias Jahnke

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.phil.nat. Urs Hugentobler

Prüfer der Dissertation: 1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Liqiu Meng
2. Hon.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Buziek
Leibniz Universität Hannover

Die Dissertation wurde am 10.10.2012 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen am 16.01.2013 angenommen.

Zusammenfassung:

Die vorliegende Arbeit behandelt kartographische Ansätze der nicht-photorealistischen Darstellung dreidimensionaler Stadtmodelle auf Geräten mit kleiner Darstellungsfläche (Smartphones). Stadtmodelldaten finden sich heute in unterschiedlichen Auflösungs- und Detaillierungsstufen. Die daraus ableitbaren Visualisierungen schöpfen bisher nicht das Potential einer kombiniert geometrisch semantischen Informationsdarstellung aus. Weitere über die geometrischen hinausgehenden Informationen werden bisher in der Darstellung wenig berücksichtigt.

Vornehmliches Ziel ist es dem angesprochenen Missstand entgegenzuwirken. Nicht photorealistische Darstellungen besitzen durch ihren abstrahierenden und informationsreduzierenden Charakter das Potential Darstellungen übersichtlich und leicht erfassbar erscheinen zu lassen. Es ist daher die Frage zu beantworten, wie die, aus der traditionellen Kartographie bekannten Werkzeuge eingesetzt werden können, um Stadtmodelle insbesondere auf Geräten mit kleiner Displayfläche nicht-photorealistisch darzustellen und als nutzerorientierte Informationspräsentation einzusetzen.

Aufbauend auf den Theorien der traditionellen Kartographie sollen ausgehend von der kartographischen Modellbildung die Konzepte und Gestaltungsansätze dahingehend erweitert werden, dass sie für dreidimensionale Darstellungen anwendbar sind. Die Erkenntnisse der Kognitionswissenschaften zur Raumwahrnehmung liefern insbesondere mit ihren Gestaltgesetzen und der Tiefenwahrnehmung eine Basis, welche für die Entwicklung neuer Ansätze zur Gestaltung von Stadtmodellen als brauchbar erscheint.

Der Nicht-Photorealismus, ein in der Computergraphik angesiedeltes Gebiet der abstrakten, informationsreduzierten Darstellung von dreidimensionalen Objekten, bietet die Möglichkeiten weitere Informationen und Thematiken in die Stadtmodelldarstellung zu integrieren. In Kombination mit der kartographischen Theorie und den Anleihen aus den Kognitionswissenschaften lassen sich Stadtmodelle in einer Art und Weise darstellen, welche die semantischen Informationen, für einen Nutzer schnell sowie leicht verständlich wahrnehmbar, in den Vordergrund stellt. Zu dem stellt der mobile Nutzungskontext besondere Anforderungen an die Gestaltung des Stadtmodells und an eine ausgewogene bzw. angepasste Informationsdichte.

Die Kartographie, als Schnittstelle zum Nutzer, muss diesen bei der Entwicklung neuartiger Gestaltungsansätze berücksichtigen. Der Nutzer ist eine entscheidende Größe, denn nur er kann beurteilen, ob eine Visualisierung seinen Zweck erfüllt und einen Mehrwert gegenüber anderen Darstellungen erbringt. Hierzu wird auf das Methodenwerk der Usabilityuntersuchungen zurückgegriffen, um die Entwicklung in eine an dem Nutzer und Zweck orientierte Richtung zu lenken. Als weiterer zugrunde liegender Aspekt muss der Nutzer in ein Szenario eingebettet werden, woraus sich ein Einsatzzweck ableiten lässt, der ebenso entscheidenden Einfluss auf die Gestaltungsansätze hat und berücksichtigt werden sollte.

In dieser Arbeit werden beispielhaft der Stadtplaner und Tourist als Nutzer sowie die beiden Zwecke Informationspräsentation und Informationsgewinnung, welche die Stadtmodellvisualisierung befriedigen soll, zugrunde gelegt. Für die sich ergebenden vier Zweck-Nutzer Kombinationen wurden Gestaltungsansätze für dreidimensionale Stadtmodelle entwickelt. Die Eignung der entwickelten Gestaltungsansätze wurde anhand verschiedener perspektivischer Darstellungen evaluiert. Deren Ergebnisse haben gezeigt, dass die Eignung der abstrakten, informationsreduzierten Stadtmodelldarstellung großes Potential besitzt und insbesondere Gestaltungsfreiheiten bietet, die bei einer photorealistischen Ge-

staltung weniger gegeben wären. Die nicht-photorealistische Art der Visualisierung kann ihre Möglichkeiten erst komplett entfalten, wenn eine zu ihr passende Zweck-Nutzer Kombination dies auch zulässt.

Die Arbeit zeigt, dass die nicht-photorealistische Darstellung ein geeignetes Mittel zur Geoinformationskommunikation ist, wenn mit dem Stadtmodell noch zusätzliche semantische Informationen dargestellt werden sollen. Insbesondere die graphischen Variablen Farbe, Form, Größe, Sättigung und Helligkeit scheinen zur Erzeugung einer nicht-photorealistisch anmutenden Stadtmodelldarstellung geeignet. Die Arbeit stellt das Potential dieser Darstellungsart heraus zeigt auf der anderen Seite aber auch auf, dass der Nutzer essentieller Bestandteil im Entwicklungsprozess sein muss, da diese Art der Darstellung nicht für jeden Nutzer und Zweck das geeignete Visualisierungsmittel ist.

Abstract

The thesis discusses a cartographic approach for non-photorealistic visualization of 3d city models on small mobile devices like smartphones. Data for city model visualizations can be found in different resolutions and levels of detail. The derived visualization's do not tap the full potential of combined geometric semantic information visualization. The semantic information is not taken into account in today's city model visualizations.

Therefore the main goal is to counteract this drawback by using the non-photorealistic visualization approach for city models. The abstracted and information reduced character of non-photorealistic visualizations feature a clear and easy recognizable information representation. To reach the above mentioned issue the findings from traditional cartography have to be assigned to 3d representations to feature a non-photorealistic visualization in particular for small mobile devices.

Based on the theories of the traditional two dimensional cartography the concept and approaches shall be expanded for the usage within the third dimension. The findings from cognition research about spatial cognition and stereoscopic depth perception constitute the basis for further research of new city model visualization approaches.

Non photorealistic rendering is a new area within computer graphic research for visualizing three dimensional objects in an abstract and information reduced manner. Using the non-photorealistic approach it becomes possible to add additional data like semantic data to the city model visualization. Together with cartographic theories and the findings from cognition research non-photorealistic techniques can give the city model a new visualization result and integrate additional information in a feasible way. This approach in particular seems to be very useful for visualizations on small mobile displays. The mobile usage context defines special requirements for a balanced and adopted information density.

Cartography as an interface has to take the user into account for feasible visualizations. The user is of main interest when developing new visualization styles and he is the only person who can give valid feedback about the usability of such a new visualization style. To figure out the user's need methods and approaches from usability research can deliver the demanded information for a user and a purpose oriented visualization. A scenario generated by the user and the purpose from which the intended use can be derived also influences the visualization.

In this work the tourist and the city planer as users plus information presentation and information retrieval as the intended use case are used. Two users plus two purposes result into four different combinations. Everyone of these combinations represent a user-purpose scenario. An individual design concept is created for all four scenarios implemented into city model visualization. The suitability of the visualization approaches are evaluated with images that show the city model from varying perspectives. The result of this self-evaluation shows the potential of abstract information-reduced visualization for city models and in particular the degrees of freedom for the design which can be achieved with the non-photorealistic approach. On the other hand the suitability or feasibility of the visualization depends on the user-purpose combination. The abstract and information-reduced visualization styles do not fit to all user purpose combinations.

The work shows a new promising non-photorealistic visualization approach for communicating spatial information like city model data in particular if additional information like semantic information should enrich the presentation. The graphic variables color, form,

size, saturation and brightness seem to be qualified to generate a non-photorealistic impression. The user must be part of the development process due to fact that the non-photorealistic visualization approach does not fit for every user or purpose as means of representation.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis	xi
1. Einleitung	1
1.1 <i>Einführung</i>	1
1.2 <i>Relevanz der Arbeit</i>	5
1.3 <i>Ziele</i>	6
1.4 <i>Aufbau der Arbeit</i>	7
2. Kartographisches Design und Stadtmodellvisualisierung	9
2.1 <i>Entwicklung des kartographischen Designs</i>	9
2.2 <i>Kartographische Modellbildung</i>	9
2.2.1 <i>Analoge und digitale Modelle</i>	10
2.2.2 <i>Die Drei-Modell-Theorie im kartographischen Kommunikationsprozess</i>	11
2.2.3 <i>Egozentrische und geozentrische Darstellungen</i>	12
2.2.4 <i>Kartographische Modelle und Darstellungen im Überblick</i>	15
2.3 <i>Kartographisches Design</i>	16
2.3.1 <i>Geometrische Primitive</i>	17
2.3.2 <i>Die visuellen Gestaltungselemente</i>	18
2.3.3 <i>Kartengestaltung</i>	22
2.4 <i>Die Dritte Dimension in der Kartographie</i>	24
2.5 <i>Digitale Kartographie</i>	26
2.5.1 <i>Anforderungen an digitale kartographische Darstellungen</i>	26
2.5.2 <i>Grundlegende Eigenschaften und Besonderheiten mobiler Geräte</i>	30
2.5.3 <i>Herausforderungen digitaler Kartographie auf kleinen/mobilen Displays</i>	31
2.6 <i>Mobile Kartographie</i>	33
3. Nicht-Photorealismus und Stadtmodelle	35
3.1 <i>Vom Photorealismus zum Nicht-Photorealismus</i>	35
3.2 <i>Eigenschaften nicht-photorealistischer Darstellungen</i>	37
3.3 <i>Kunst, Ästhetik und Nicht-Photorealismus</i>	42
3.4 <i>Entwicklung nicht-photorealistischer Techniken</i>	43
3.5 <i>Nicht-photorealistische Informationsvisualisierungen</i>	45
3.6 <i>Stadtmodelle</i>	47
3.6.1 <i>Computergraphik</i>	48
3.6.2 <i>Beschreibung von Gebäudemodellen</i>	50

3.6.3	Level of Detail in Stadtmodellen.....	52
3.6.4	Generalisierung von Stadtmodellen	53
3.6.5	Anwendungsgebiete dreidimensionaler Stadtmodelle	60
4.	Wahrnehmung.....	63
4.1	<i>Kognition in der Kartographie.....</i>	63
4.1.1	Entwicklung der Kognitionswissenschaften	64
4.1.2	Kognitive Forschung und Kartographie.....	66
4.2	<i>Visuelle Wahrnehmung und Gestaltgesetze</i>	68
4.2.1	Gestaltgesetze.....	69
4.2.2	Räumliche Wahrnehmung	71
4.2.3	Visuelle Forschung	75
4.3	<i>Wahrnehmung und Computergraphik</i>	78
5.	Zweck und Nutzen der Kartenprodukte	81
5.1	<i>Der Nutzer, der Zweck und Usability</i>	81
5.2	<i>Was ist Usability?.....</i>	82
5.2.1	Der Usability-Zyklus	84
5.2.2	Methoden zur Usability-Untersuchung.....	85
5.2.3	Beispiele für Usability-Untersuchungen in der Kartographie	88
5.3	<i>Der Nutzer im Mittelpunkt.....</i>	89
5.3.1	Verschiedene Nutzergruppen	90
5.3.2	Überblick über die relevanten Nutzergruppen.....	93
6.	Kartographischer Gestaltungsrahmen für Stadtmodell Darstellungen	95
6.1	<i>Zweckmäßigkeit vs. Nutzerorientierung.....</i>	95
6.2	<i>Einflussfaktoren des Stadtmodell designs.....</i>	97
6.2.1	Kartographische Einflüsse.....	97
6.2.2	Einflüsse der visuellen Forschung	98
6.2.3	Kognitive Einflüsse	99
6.2.4	Usability Einflüsse.....	100
6.3	<i>Erzeugung eines abstrakten, nicht-photorealistischen Eindrucks</i>	101
7.	Prototypische Umsetzung nutzerorientierter Stadtmodell Darstellungen	107
7.1	<i>Resümee zu den Kapiteln 5 und 6.....</i>	107
7.2	<i>Ein Variablensystem für nicht-photorealistische Stadtmodell Darstellungen</i>	108
7.2.1	Einsatz der graphischen Variablen in den Zweck-Nutzer Kombinationen.....	109
7.2.2	Ergänzende Hinweise	126
7.2.3	Zusammenstellung relevanter graphischer Variablen und Gestaltgesetze.....	128
7.3	<i>Weitere beispielhafte Stadtmodell Darstellungen</i>	131

7.3.1	Semantische Informationen in dreidimensionalen Stadtmodellen	131
7.3.2	Landmark basierte nicht-photorealistische Darstellungen	133
7.4	<i>Wertung und Eignung der Visualisierungsansätze</i>	133
7.5	<i>Automatisierbarkeit</i>	138
8.	Zusammenfassung	141
8.1	<i>Fazit</i>	141
8.2	<i>Ausblick</i>	144
8.3	<i>Zukünftige Arbeiten</i>	145
9.	Literatur	147
Anhang	159

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Aus Lindenholz gefertigtes Stadtmodell der Freien und Hansestadt Hamburg. (©MissyWegner (2010), Wikipedia – die freie Enzyklopädie)	1
Abbildung 1-2: Nicht-photorealistische Darstellung eines Teils eines Stadtmodells Quelle: Hasso-Plattner-Institut, Computergrafische Systeme	3
Abbildung 1-3: Struktur und Aufbau der Arbeit.....	8
Abbildung 2-1: Primär-, Sekundär- und Tertiärmodell im kartographischen Kommunikationsprozess	11
Abbildung 2-2: Links – geozentrische Darstellung; rechts – egozentrische Darstellung (aus Meng 2005)	13
Abbildung 2-3: Bedeutung ego- und geozentrischen Designs im kartographischen Kommunikationsprozess	14
Abbildung 2-4: Beispiele zum graphischen Gefüge aus Hake et al. (2002) Seite 107	16
Abbildung 2-5: Geometrische Primitive der traditionellen Kartographie links und ihre Entsprechungen im Dreidimensionalen	18
Abbildung 2-6: Die sechs graphischen Variablen nach Bertin (1967)	19
Abbildung 2-7: Die von MacEachren (1995) zusammengetragenen erweiterten Variablen	21
Abbildung 2-8: Beispiele für die Figur-Grund-Unterscheidung aus Slocum et al. (2005). a) keine Figur-Grund-Unterscheidung; b) Linien und Punkte sind dunkler gehalten, als der Rest, gute Figur-Grund-Unterscheidung; c) Die hellen Flächen wirken als Figur die dunklen als Grund.....	23
Abbildung 2-9: Visuelle Hierarchie aus Swienty (2008) Seite 64	24
Abbildung 2-10: a) Zentralprojektion und b) Parallelprojektion aus Kumke (2011) Seite 44	25
Abbildung 2-11: Oben: Auflösungsvermögen des menschlichen Auges bei einem Leseabstand von 30cm. Unten: Auflösungsvermögen des menschlichen Auges bei einem Leseabstand von 60cm (aus Jenny et al. 2008).....	28
Abbildung 2-12: Auflösung von heute gängigen Computerdisplays zur Darstellung von Karteninformationen	29
Abbildung 2-13: Das Blickfeld (Field of View) im Verhältnis zu verschiedenen großen kartographischen Darstellungen bei einem Abstand von 40 cm. a) zeigt das Verhältnis zu einer Papierkarte, b) zu einer Bildschirmkarte und c) zu einer Karte auf einem mobilen Gerät mit kleinem Bildschirm (nach Swienty (2009)).....	32
Abbildung 3-1:Ausschnitte photorealistischer Stadtmodelle. a) Google Earth und b) Nokia Maps.....	36

Abbildung 3-2: Schematische Darstellung der Graphik Pipeline. Eine detailliertere Darstellung findet sich in Abschnitt 3.6.1	37
Abbildung 3-3: Nicht-photorealistische Beispiele nach Strothotte und Schlechtweg (2002): a) Liniendarstellung; b) hervorgehobene Säulen; c) Nutzung der dreidimensionalen Informationen für Tiefenhinweise durch variierenden Linienstärke	38
Abbildung 3-4: Verschiedene Grade des Nicht-Photorealismus, um die Aufmerksamkeit des Nutzers in die gewünschte Richtung zu lenken – der detaillierte Pfad wurde von den Nutzern in Navigationsszenarien gewählt. Aus Halper et al. 2003a Seite 282	38
Abbildung 3-5: Vergleich einer photorealistischen Darstellung (a) mit einer nicht-photorealistischen Darstellung (b) aus Döllner und Kyprianidis (2009)	39
Abbildung 3-6: Die Generalisierung im Kontext nicht-photorealistischer Stadtdarstellungen	40
Abbildung 3-7: Der Grad der Abstraktion nach Elias und Paelke (2008) mit eigenen Ergänzungen	41
Abbildung 3-8: Verschiedene Darstellungen einer Szene aus München. a) mit einem Stilisierungsfilter bearbeitet in Photoshop©; b) Kantenbetonung, die einen cartoonartigen Eindruck vermittelt.	43
Abbildung 3-9: Gegenüberstellung einer photorealistischen Szene (a) und einer nicht-photorealistischen Szene (b) mit dem von Kyprianidis und Döllner (2008) entwickelten Verfahren (© Hasso-Plattner-Institut, Computergraphische Systeme)	44
Abbildung 3-10: Ablauf zur Erzeugung einer nicht photorealistischen Darstellung ausgehend von einem dreidimensionalen Stadtmodell. (nach Jahnke et al. 2011a)	45
Abbildung 3-11: Illustrationen für Technische Objekte aus Gooch et al. (1998); (a): ein koloriertes Objekt, (b): ein abstraktes, Kantenbetontes Objekt	45
Abbildung 3-12: Verschiedene Grade der Abstraktion aus Santella und Decarlo (2004b) (a) das Original, (b) abstrahierte Szene, (c) stark abstrahierte Szene 46	
Abbildung 3-13: Schematisierte dreidimensionale Gebäudestrukturen zur Beschreibung eines multidimensionalen semantischen Datensatzes über die graphischen Variablen Form, Farbe und Transparenz aus Middel et al. (2008)	46
Abbildung 3-14: Anwendung der grafischen Variablen Größe/Strichstärke (a) und Farbe (b) sowie die Kombination beider (c), um die Gebäude mit einer bestimmten Nutzung hervorzuheben aus Jahnke et al. (2011a).	47
Abbildung 3-15: Schematische Darstellung der Rendering Pipeline basierend auf Kumke (2011) Seite 30	49

Abbildung 3-16: Arten der Modellierung von dreidimensionalen Objekten. a) die Modellierung mittels Raumprimitiven, b) die Randbeschreibung von Objekten und c) die Modellierung mittels des Zellzerlegungsverfahrens	50
Abbildung 3-17: Verschiedene Typen von Gebäudemodellen, eingeteilt nach ihrer Form und Komplexität (aus Kada 2007 Seite 18)	51
Abbildung 3-18: Level of Detail (LoD) nach dem CityGML Standard. a) LoD1: Klötz- chenmodell; b) LoD2: Dach-formen; c) LoD3: Dachformen und Fassa- denelemente; d) LoD4: Architektur Modell (nach Fan et al. 2009)	52
Abbildung 3-19: Objektgeneralisierung und das „Bewerten“ als elementarer Vor- gang der kartographischen Generalisierung	53
Abbildung 3-20: Generalisierungsoperationen der traditionellen Kartographie nach Hake et al (2002) Seite 169	54
Abbildung 3-21: Vergleich zweier Gebäude einmal ausmodelliert (a) und zum Ver- gleich die äußere Hülle des Gebäudes (b) aus Fan et al. 2009	56
Abbildung 3-22: Informationsfilterung eine auf Relevanzkriterien basierende maß- stabsunabhängige Auswahl von Objekten zu Visualisierung	56
Abbildung 3-23: Generalisierung eines Gebäudes zur Geometrievereinfachung (Kada 2007) a) vor der Generalisierung und b) nach der Generalisierung	57
Abbildung 3-24: Generalisierung von gleichartigen Objekten. a) der Original Zu- stand, b) das Original skaliert, c) den Operator „Typifizierung“ angewandt. ..	58
Abbildung 3-25: Typifizierung von Gebäudefassaden. a) zeigt ein Bild der Szene, b) zeigt die modellierten Gebäude mit modellierten Fenstern, Balkonen und Eingangsbereichen	59
Abbildung 3-26: Typifizierung von Gebäudefassaden, a) zeigt ein Ergebnis der Typi- fizierung und b) zeigt ein nicht optimales Verteilungsergebnis der Typifi- zierung	59
Abbildung 4-1: Der Wahrnehmungsprozess nach Gerrig und Zimbardo (2008) (Seite 110)	66
Abbildung 4-2: Variation der graphischen Variablen Form und Hinzunahme der Variablen Farbe, um eine „Andersartigkeit zu erreichen	68
Abbildung 4-3: Beispiel zur Figur-Grund-Unterscheidung aus Gerrig und Zimbardo (2008)	69
Abbildung 4-4: Die Gestaltgesetze	70
Abbildung 4-5: Beispielhafte Darstellung für die Linearperspektive aus Kumke (2011)	72
Abbildung 4-6: Beispiele für den Tiefeneindruck durch gegenseitige Verdeckung von Objekten rechts, und durch Schattenwurf links aus Kumke (2011)	72
Abbildung 4-7: Objekthöhenlage gegenüber dem Horizont aus Kumke 2011	73

Abbildung 4-8: Das Phänomen der Luftperspektive in der Realität: Blautrübung der weiter entfernt liegenden Gipfelreihen (©Friedrich Böhringer (2010), Wikipedia – die freie Enzyklopädie)	73
Abbildung 4-9: Der Texturgradient als Tiefenkriterium. Die Dichte der Textur nimmt mit steigender Entfernung vom Betrachter aus zu.	74
Abbildung 4-10: Anwendung der Transparenz in der Stadtmodell Visualisierung. Links ohne Transparenz; rechts mit Transparenz.....	78
Abbildung 5-1: Attribute der Eignung eines Systems zur Erledigung von Aufgaben, unter denen die Usability eine besondere Stellung einnimmt (nach Nielsen 1993)	83
Abbildung 5-2: Faktoren, die nach Rosson und Carroll (2002) die Usability beeinflussen bzw. die Faktoren die man kennen sollte, um eine gute Usability sicherzustellen	84
Abbildung 5-3: Der Usability-Zyklus zur Optimierung der Usability eines Systems	85
Abbildung 5-4: Evolutionsphasen der Kartographie nach Meng (2006) zeigt an, dass die Usability erst relativ spät in der Kartographie fußgefasst hat.	89
Abbildung 5-5: Einordnung von Nutzer- / Zielgruppen anhand der Eigenschaften „Art der Nutzung“, der „Wissensbasis“ und dem „Aufgabenspektrum“	91
Abbildung 6-1: Für Stadtmodelle relevante Flächenfarben aus dem ATKIS-Signaturkatalog	99
Abbildung 6-2: Reduzierung der Informationsdichte: a) Original Bild, b) erste Reduzierung der Informationsdichte, c) weitere Reduzierung der Informationsdichte aus Jahnke (2011b).....	101
Abbildung 6-3: Verschiedene Formen für eine Kante, von gerade über ausgefranst und unscharf bis stark variierend.....	102
Abbildung 7-1: Ausschnitt aus dem Basis-Stadtmodell welches zur Veranschaulichung der Zweck-Nutzer Kombinationen erzeugt wurde. Die Nutzung wurde entsprechend der Abbildung 6-1 für den Boden vorgenommen.	109
Abbildung 7-2: Verschiedene Anwendungen der graphischen Variablen Linienstärke, Farbe und Form auf die Konturen und Farbe auf die Fassadenflächen für die Rolle 1a	110
Abbildung 7-3: Verschiedene Varianten der Signaturierung in der Stadtmodellvisualisierung a) mit einem Symbol zur Anzeige der Art des Gebäudes und b) ein Symbol als Identifikator für z.B. Öffnungszeiten.....	111
Abbildung 7-4: Eine Überblicksansicht zu der Zweck-Nutzer Kombination, die relevanten Gebäude sind in dieser Ansicht gut zu erkennen (grüne Gebäude), das kann in anderen Perspektiven anders sein.	112
Abbildung 7-5: Abbildungen der Szene mit farbigen Gebäuden. a) die relevanten Gebäude sind verdeckt, b) eines der relevanten Gebäude ist „gerade so“ zu erahnen, c) eines der interessierenden Gebäude ist deutlich im Vordergrund zu erkennen und d) beide relevanten Gebäude sind sichtbar..	113

Abbildung 7-6: Abbildungen der Szene mit Graustufendarstellung der Gebäude. a) die relevanten Gebäude sind verdeckt, b) eines der relevanten Gebäude ist „gerade so“ zu erahnen, c) eines der interessierenden Gebäude ist deutlich im Vordergrund zu erkennen und d) beide relevanten Gebäude sind sichtbar	113
Abbildung 7-7: Verschiedene Anwendungen graphischer Variablen und unterschiedliche Detaillierungsgrade für die Rolle 1b	114
Abbildung 7-8: Übersichtsabbildung zur Verteilung der Nutzungen in der Stadt	116
Abbildung 7-9: Beispiele für die Darstellung von Legenden in Stadtmodelldarstellungen	117
Abbildung 7-10: a) zeigt nur Gebäude die dem Wohnen dienen, b) zeigt Wohngebäude, Einkaufsmöglichkeiten, Verwaltungsgebäude sowie ein Gebäude in dem die Polizei beherbergt ist.	117
Abbildung 7-11: Vergleich photorealistischer (a) und nicht-photorealistischer (b) Darstellung aus Jahnke et al. (2011).....	118
Abbildung 7-12: Verschiedene Anwendungen der graphischen Variablen auf die Konturen und Fassaden mit einem höheren Detaillierungsgrad der Gebäude für die Rolle 2a.....	119
Abbildung 7-13: Übersichtsabbildung zur Informationspräsentation. Die Gebäude in direkter Nachbarschaft zu dem neuen Gebäude sind detaillierter dargestellt.	120
Abbildung 7-14: Änderung des Level of Detail (LoD) innerhalb eines Gebäudes	121
Abbildung 7-15: a) Perspektive aus der das neue Gebäude nicht sichtbar ist, b) Sicht auf das neue und umliegende Gebäude, c) Perspektive auf die Stadt mit geschlossener Baulücke, d) Sicht auf die Stadt über Industriebauwerke hinweg auf das neue Gebäude.....	121
Abbildung 7-16: Reduzierung des visuellen Gewichtes von weiter entfernten Gebäuden vgl. hierzu auch Abschnitt 4.2.2 (Tiefenhinweise).....	122
Abbildung 7-17: Verschiedene Anwendungen der graphischen Variablen Linienstärke, Farbe und Form auf die Konturen und Farbe, Helligkeit und Sättigung auf die Fassadenflächen für die Rolle 2b	123
Abbildung 7-18: Übersichtsabbildung zur Informationsgewinnung mit der Differenzierung eines neuen Gebäudes von den vorhandenen Gebäuden.....	124
Abbildung 7-19: Verschiedene Möglichkeiten der Hervorhebung des neuen Gebäudes durch unterschiedliche Form der Konturierung und einen höheren Grad der Detaillierung.....	124
Abbildung 7-20: Vier verschiedene Darstellungen aus der Perspektive eines Stadtplaners, zur Unterscheidung alten Bestandes und neuer Bebauung.	125
Abbildung 7-21: Vier verschiedene Darstellungen aus der Perspektive eines Stadtplaners, zur Unterscheidung alten Bestandes und neuer Bebauung mit hervorgehobenen Konturen zur besseren Unterscheidung	125

Abbildung 7-22: Differenzierung zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäuden anhand der Gebäudeform	127
Abbildung 7-23: Szenenbild mit eingeblendetem Umgebungsplan.....	128
Abbildung 7-24: Modell mit angewendetem Schatten, der im Laufe des Tages durch den Sonnenstand beeinflussbar wäre.	132
Abbildung 7-25: Das Stadtmodell im Tagesverlauf. a) mittags, b) morgens und c) abends.	132
Abbildung 7-26: Beispiele zur Kenntlichmachung der relevanten Gebäude. a) Hinweis auf die nicht sichtbaren Gebäude, b) auf das weiter entfernte Gebäude wird zusätzlich durch einen Hinweis aufmerksam gemacht.	133
Abbildung 7-27: Einordnung der verschiedenen Stadtmodellvisualisierungen.....	137
Abbildung 7-28: Workflow zur Erzeugung der beispielhaften nicht-photorealistischen Stadtmodell Darstellungen	138

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1: Unterschiede geozentrischer und egozentrischer Darstellungen (nach Meng 2005)	13
Tabelle 2-2: Mindestgrößen für gedruckte Karten in schwarz-weiß Darstellung und Farbdarstellung aus Hake et al. (2002). Alle Angaben in Millimeter (mm)	28
Tabelle 2-3: Auflösungen gebräuchlicher Bildschirme nach Wikipedia (2012).....	29
Tabelle 3-1: Vergleich der verschiedenen Grade der Abstraktion aus der Linguistik mit denen aus der Visualisierung nach Hayakawa 1967 (aus Jahnke et al. 2011a).....	41
Tabelle 4-1: graphische Variablen zur Steuerung der Aufmerksamkeit, als Träger von Tiefeninformationen und für die Anwendung auf Volumen Objekte.....	67
Tabelle 5-1: Übersicht zu den Eigenschaften der verschiedenen in dieser Arbeit vorgestellten Benutzergruppen	94
Tabelle 6-1: Gegenüberstellung verschiedener Zweck-Nutzer Kombinationen und die Rollen des Stadtmodells in den jeweiligen Fällen.	95
Tabelle 6-2: Eignung der graphischen Variablen für die verschiedenen geometrischen Primitive in der Stadtmodellvisualisierung.....	104
Tabelle 7-1: Zusammenstellung der graphischen Variablen in Rolle 1a.....	111
Tabelle 7-2: Zusammenstellung der graphischen Variablen in Rolle 2b.....	116
Tabelle 7-3: Zusammenstellung der graphischen Variablen in Rolle 2a.....	119
Tabelle 7-4: Zusammenstellung der graphischen Variablen in Rolle 2b.....	123
Tabelle 7-5: Zusammenstellung der graphischen Variablen zur Unterscheidung anhand der Gebäudeform.....	127
Tabelle 7-6: Zusammenstellung und Vergleich der angewendeten graphischen Variablen.....	129
Tabelle 7-7: Die die Wahrnehmung in den Zweck-Nutzer Kombinationen unterstützenden Gestaltgesetze.....	130

1. Einleitung

1.1 Einführung

Stadtmodelle werden in verschiedenen Bereichen, wie Tourismus, Navigation und Stadtplanung eingesetzt. Sie sollen es dem Anwender ermöglichen ohne vorherige Kenntnis der Örtlichkeit Eindrücke von fremden Umgebungen zu sammeln oder sich an fremden Orten zu Recht zu finden. Über diese Anwendungsbereiche hinausgehend sollen sie als Informationssysteme vielseitig einsetzbar sein. In der architektonischen Planung haben Stadtmodelle und insbesondere auch dreidimensionale Stadtmodelle eine lange Tradition zur Veranschaulichung von vorhandener und zukünftiger Bebauung (Grellert, 2007). Abbildung 1-1 veranschaulicht die vorhandene (weiße Gebäude) und die zukünftige (holzfarbene Gebäude) Bebauung am Beispiel der HafenCity in Hamburg. Perspektivische Darstellungen von Gebäuden und ganzen Städten ermöglichen dem Nutzer ein dreidimensionales Erlebnis der dargestellten Gebäude ohne vor Ort gewesen zu sein. Zur Erzeugung eines dreidimensionalen Erlebnisses, welches dem Betrachter einen Mehrwert bringen soll, da semantische Information in eine virtuelle Darstellung mit einfließen, bietet es sich an nicht-photorealistische Darstellungen einzusetzen. Nicht-photorealistische Darstellungen besitzen durch ihren abstrahierenden und informationsreduzierenden Charakter das Potential Darstellungen übersichtlich und leicht erfassbar erscheinen zu lassen. In dieser Arbeit soll daher der Frage nachgegangen werden, wie die aus der traditionellen Kartographie bekannten Werkzeuge eingesetzt werden können, um Stadtmodelle insbesondere auf Geräten mit kleiner Displayfläche nicht-photorealistisch darzustellen und als nutzerorientierte Informationspräsentation einzusetzen.



Abbildung 1-1: Aus Lindenholz gefertigtes Stadtmodell der Freien und Hansestadt Hamburg. (©MissyWegner (2010), Wikipedia – die freie Enzyklopädie¹)

Haptische aus Holz oder Pappe gefertigte Stadtmodelle² (Oswald, 2011) bieten dem Nutzer einen realen dreidimensionalen Eindruck (siehe Abbildung 1-1). Materielle dreidimen-

1 http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:HC_Modell_Januar_2010.jpg&filetimestamp=20100117160910 (25.01.2013)

2 <http://www.hamburg.de/stadtmodell/start-aktuelles/615826/stadtmodell-aktuell.html> (25.01.2012)

sionale Modelle zeichnen sich dadurch aus, dass der Nutzer durch Veränderung seines Standpunktes die Stadt aus verschiedenen Perspektiven betrachten kann. Das Merkmal des perspektiven Wechsels lässt sich auch bei dreidimensionalen virtuellen Stadtmodellen erfahren. Der Nutzer vollführt einen virtuellen Perspektivenwechsel, wenn das Modell aus verschiedenen Blickwinkeln dargestellt werden soll. Sollen Ausschnitte des Modells intensiver betrachtet werden, bedarf es bei virtuellen Modellen einer Zoomfunktion, wohingegen sich der Nutzer beim haptischen Modell direkt nähern kann oder zur Erlangung eines besseren Überblicks einen Schritt zurück treten kann.

Bei der Betrachtung unterschiedlicher Modellformen von dreidimensionalen Stadtmodellen wohnt den materiellen (haptischen) Stadtmodellen eine Visualisierung inne, die zum einen durch den Detailierungsgrad der einzelnen Elemente (Gebäude), die verwendeten Materialien und den Maßstab, in dem das Stadtmodell erzeugt ist, definiert wird. Die Visualisierung virtueller Stadtmodelle basiert auf dem geometrischen Grundgerüst (Detailiertheit der Gebäude) sowie den graphischen Variablen (Bertin, 1967) und den erweiterten graphischen Variablen (MacEachren, 1995, Buziek, 2001) die entsprechend ihrer Eignung auf die geo-metrischen Grundformen Punkt, Linie und Fläche angewandt werden. Um eine adäquate und flüssige Darstellung auf einem Computerdisplay zu erzielen, müssen die Geometrien der Stadtmodelle für verschiedene Betrachtungsabstände generalisiert werden. Dieses Prinzip des „Level of Detail“ (LoD) entstammt der Computergraphik (Luebke et al., 2003) beschreibt aber auch die Auflösung von virtuellen Stadtmodellen, begonnen bei einem Klötzchenmodell bis hin zu einem sehr detailliertem Architektenmodell (OGC, 2008). Die Geometrien als räumliche Repräsentation der Stadt, können in verschiedenen Dateiformaten oder auch datenbankbasiert vorliegen und werden durch eine entsprechende Software als perspektivisches, dreidimensionales Bild dargestellt.

Die verschiedenen Modellformen dreidimensionaler Stadtmodelle erstrecken sich über eine Spanne, die bei zeichnerischen dreidimensionalen Darstellungen beginnt und über handgefertigte Holzmodelle bis hin zu am Computer erzeugten virtuellen Darstellungen geht. Virtuelle Stadtmodelle bestehen heute aus einem geometrischen Körper mit auf den Seitenwänden aufgebrachten Fotos der Fassaden (Kada et al., 2005, Haala und Kada, 2005). Vereinzelt finden sich auch sehr detaillierte Modelle. Deren Verfügbarkeit beschränkt sich jedoch oftmals auf einen kleinen Ausschnitt der Umgebung, da ihre aufwendige Erstellung mit hohen Kosten verbunden ist (Stark, 2005).

Der Kartographie als Wissenschaft der Darstellung von räumlichen Informationen kommt in der Stadtmodellvisualisierung eine besondere Aufgabe zu. Die maßstäbliche Darstellung der topographischen Gegebenheiten der Erde durch Punkte, Linien, Flächen und Symbole zählte lange Zeit zu den Hauptaufgaben der zweidimensionalen Kartographie (Hake et al., 2002). In neuester Zeit tritt die dritte Dimension insbesondere durch die fortschreitenden Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnologie auch in der kartographischen Forschung immer mehr in den Vordergrund. Es entsteht ein wahrer „Hype“ nach dreidimensionalen Darstellungen. Diese sind nicht mehr nur mit komplexen Softwarepaketen zu erzeugen, sondern heute für jedermann leicht zugänglich zu erstellen.

Ein weiterer Punkt der Entwicklungen in der Informations- und Kommunikationstechnologie ist die Möglichkeit zu Objekten, wie Gebäuden, neben reiner geometrischer Information eine Vielzahl an zusätzlichen, semantischen Attributen zu erfassen, um die Umgebung detailliert zu beschreiben. Eine Integration eben dieser semantischen Informationen in das

Stadtmodell würde aus einem reinen Anschauungsobjekt ein hoch integriertes Informationssystem werden lassen, das eher einem Experten-System gleichen würde als einer Informationsquelle, die jeder nutzen kann. An diesem Punkt ist die Kartographie gefragt, in dem sie Methoden bereitstellt, die auch im Dreidimensionalen dem Nutzer brauchbare, an seinen Bedürfnissen ausgerichtete Ergebnisse liefert. Um die Methoden der traditionellen Kartographie in die dritte Dimension zu erweitern, müssen z.B. die Mindestdimensionen für die Darstellung von Punkt, Linie und Fläche auf das jeweilige Darstellungsmedium, wie z.B. ein Computerdisplay angepasst werden. Dies muss geschehen, damit die zusätzlichen Informationen für den Nutzer leichtzugänglich wahrnehmbar in das Stadtmodell integriert werden können.

Die Darstellung zweidimensionaler Informationen auf Computer Displays stellt einen Bereich der kartographischen Forschung dar, der weit entwickelt ist und Hinweise für die Web- oder Internetdarstellung von Karten gibt (Li et al., 2004, Jenny et al., 2008, Räber und Jenny, 2001). Ein Missstand findet sich bei Methoden und Regeln zur Darstellung dreidimensionaler virtueller, stadträumlicher Umgebungen. Gegenseitige Überdeckungen und Tiefenhinweise für den dreidimensionalen Eindruck stehen teilweise im Widerspruch zu den, aus der zweidimensionalen Kartographie, bekannten Lösungen und Methoden zur Informationsvisualisierung.

Thematische Karten haben einen weit fortgeschrittenen Entwicklungsstand erreicht. Die Strategien und Methoden sind etabliert und der Nutzer kann einen Mehrwert aus einer solchen Karte erlangen. Eben dieser Schritt, einen solchen Mehrwert auch aus dreidimensionalen Stadtmodell-Visualisierungen zu erzielen, muss noch gemacht werden. Die Nutzung dreidimensionaler Stadtmodelle als Informationsquelle findet sich zunehmend in der Literatur (Plesa und Cartwright, 2008, Döllner et al., 2003, Döllner et al., 2006, Jahnke et al., 2011a). Jedoch bedarf es in diesem Bereich weiterer Untersuchungen, da sich allein schon durch die Betrachtung des mobilen Marktes mit der zunehmenden Verbreitung von Smartphones ein Interesse nach mobilen Inhalten ableiten lässt (Abraham und Block, 2012). Die Nutzung beschränkt sich nicht mehr nur auf den Computer zuhause oder am Arbeitsplatz sondern sie wird zunehmend mobil, womit auch das Bedürfnis zur Nutzung von Kartendiensten auf einem mobilen Gerät steigt.



Abbildung 1-2: Nicht-photorealistische Darstellung eines Teils eines Stadtmodells
Quelle: Hasso-Plattner-Institut, Computergrafische Systeme

Begonnen mit einfachen Kartenrepräsentationen auf Computerbildschirmen setzt sich die Entwicklung vom Analogen zum Digitalen weiter fort. Mobile Geräte wie auch mobile Anwendungen sind ein nicht wegzudenkender Teil des täglichen Lebens. Die technologische Entwicklung im Bereich des „mobile Computing“ schreitet weiter voran und die Nutzung räumlicher Informationen nimmt einen immer wichtiger werdenden Stellenwert in Gesellschaft und Forschung ein. Visualisierungen dreidimensionaler Informationen auf mobilen Displays bedürfen weiterer Anstrengungen, da diese insbesondere technischen Beschränkungen unterworfen sind, wie einer kleinen Darstellungsfläche, einer begrenzten Rechenleistung und Speicherkapazität sowie einer begrenzten Netzwerkbandbreite (Reichenbacher, 2004). Die Einschränkungen, die Computer Displays durch ihre geringe Auflösung, im Vergleich mit denen von kartographischen Druckerzeugnissen, aufweisen, sind ebenfalls bei der Visualisierung zu berücksichtigen. Informationen müssen für eine eindeutige Erkennbarkeit größer dargestellt werden und nehmen dadurch eine größere Darstellungsfläche ein. Die genannten Einschränkungen großer Computer Displays treten bei mobilen Displays in den Hintergrund. Deren Auflösungen werden von Gerätegeneration zu Gerätegeneration immer besser und liegen teilweise unterhalb der Wahrnehmungsgrenze des menschlichen Auges (Blaha, 2012).

Aus den vorgenannten Gründen müssen Visualisierungen mit einem hohen Informationsgehalt besonders sorgfältig auf das jeweilige Darstellungsmedium angepasst werden. Bei der mobilen Nutzung wird der Nutzer durch Umweltfaktoren, wie Geräusche, Gerüche etc., von der Informationsaufnahme abgelenkt, die in geschlossenen Räumen bei stationären Displays nicht auftreten oder weniger ablenkend wirken würden (Swienty, 2008).

Um diesen Nachteil mobiler Nutzung zu umgehen, kann eine auf das wesentliche konzentrierte, den Nutzern und deren Bedürfnissen angepasste, Visualisierung der Stadtmodelle erfolgen. Hierzu sollte die Informationsdichte reduziert, der Grad der Abstraktion erhöht und die Menge zu übertragender Daten zur Darstellung reduziert werden (Jahnke et al., 2011b). Um dieses Ziel zu erreichen kann das aus der Computergrafik bekannte Verfahren des Nicht-Photorealistischen Renderings (NPR) eingesetzt werden (Strothotte und Schlechtweg, 2002, Gooch und Gooch, 2001). Erste Erfahrungen mit nicht-photorealistischen Darstellungen für die Stadtmodellvisualisierung finden sich in Döllner und Walther (2003), die mit Verfahren aus der Computergraphik einer Stadtmodelldarstellung ein comicartiges, künstlerisches Aussehen verleihen (Abbildung 1-2). Mit diesem Verfahren können Informationen grafisch abstrahiert und die Informationsdichte auf ein, dem Kontext angemessenes Niveau reduziert und eingeschränkt werden. Die visuelle Hervorhebung bestimmter Elemente oder Teile innerhalb einer Darstellung lassen sich mit dem Nicht-Photorealistischem Rendering erreichen. Diese Technik auf komplexe stadträumliche Geodaten und georeferenzierte Informationen anzuwenden verspricht eine neue Sichtweise auf dreidimensionale Stadtmodelle als Informationssystem. Zusätzliche semantische Informationen in eine virtuelle Umgebung zu integrieren und für den Nutzer leicht wahrnehmbar darzustellen bietet einen Mehrwert gegenüber heute gängigen Stadtmodellvisualisierungen insbesondere für den mobilen Nutzer.

Das Ziel von Stadtmodellvisualisierungen insbesondere für die mobile Nutzung muss sein, die Komplexität der Daten zu reduzieren und gleichzeitig den Verlust an Informationen so gering wie möglich zu halten (Fayyad et al., 2002).

1.2 Relevanz der Arbeit

Die Darstellung des Raumes ist eine der grundlegenden Aufgaben der Kartographie. Achtzig Prozent aller erzeugten Daten weisen einen räumlichen Bezug auf (MacEachren und Kraak, 2001). Um der stetig anwachsenden Menge an Daten mit räumlichem Bezug zu begegnen, müssen die traditionellen Theorien und Methoden der Kartographie zu einem umfassenden Rahmenwerk erweitert werden, das den Anforderungen der modernen Informationstechnologie gerecht wird. Bekannte, verfügbare und entwickelte Theorien, Methoden und Technologien sind nicht dafür ausgelegt aus großen heterogenen Datenvolumina einen brauchbaren Mehrwert zu extrahieren (Chinchor et al., 2005). Die Geovisualisierung (MacEachren und Kraak, 2001) umfasst Grundzüge der Visualisierung aus dem Scientific Computing, der Kartographie, der Informationsvisualisierung und der Datenanalyse, sie erweitert den kartographischen Darstellungsbegriff um Analysefunktionen und Interaktivitätsmetaphern, damit für den Nutzer ein signifikanter Mehrwert generiert bzw. der Wissenserwerb vereinfacht werden kann. Damit dieses Ziel erreicht wird, müssen die Theorien und Methoden der Kartographie stetig weiter entwickelt werden. Die Kluft zwischen technisch Machbarem und kartographischer Theorie wird immer größer, was kartographische Darstellungen bedingen kann, die den, an sie gestellten Anforderungen nicht mehr gerecht werden (Meng, 2003, Buziek, 2001). Einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung der Geovisualisierung werden Fortschritte in den Themenbereichen

- *Representation,*
- *Intergation with knowledge construction and geocomputing,*
- *Interface Design,*
- *Cognitive usability issues*

(MacEachren und Kraak, 2001) Seite 3

leisten. Insbesondere der Schritt von einer statischen zweidimensionalen Darstellung hin zu einer interaktiven dreidimensionalen Darstellung muss geleistet werden. Die Darstellung virtueller stadträumlicher Umgebungen soll ein Abbild der Realität beim Nutzer erzeugen und zur Wissensakquise beitragen. Hier sind insbesondere die kognitiven Fähigkeiten des Nutzers zu verstehen und zu aktivieren (Slocum et al., 2001, Swienty et al., 2008a). Es wird ersichtlich, dass neue Geovisualisierungsmethoden auch neue Designansätze benötigen. Die Erweiterung kognitiver Theorien und Methoden ist eng mit Erkenntnissen aus Usability-Untersuchungen verbunden, da diese Auskünfte darüber liefern können, welche kognitiven Theorien und Gestaltungsansätze einen Mehrwert beim Nutzer erzeugen (Swienty, 2008). Die Kartographie ist in dem Sinne der Geovisualisierung nicht mehr als Produkt für den Nutzer zu betrachten sondern als dynamischer Vorgang, in den der Nutzer aktiv eingreifen kann. Die drei Prozessbereiche Gestaltung, Kognition und Kommunikation ergeben einen Zyklus, der im Vordergrund moderner Kartographie steht (Kriz, 2001, Kriz, 1999). Virrantaus et al. folgern hieraus, dass kartographische Darstellungen „immer“ (always) an den Bedürfnissen des Nutzers orientiert (user-centered-design) sein sollen. Kleine Displaygrößen werden zukünftig den limitierenden Faktor für Kartendarstellungen darstellen. Insbesondere Erkenntnisse aus Kognition und visueller Wahrnehmung werden einen entscheidenden Beitrag zur Bildung einer theoretischen Basis für kartographische Darstellungen bilden (Virrantaus et al., 2009).

Die Untermauerung von Darstellungen und Visualisierungen durch ein solides Theoriegebäude ist ein großes Anliegen heutiger kartographischer Forschung und ist notwendig, um

die Weiterentwicklung von der statischen zweidimensionalen Darstellung zur dreidimensionalen Visualisierung in die Kartographie mit einzubeziehen (Buziek, 2001). Das Design statischer, dreidimensionaler und kartenverwandter Darstellungen hat einen entscheidenden Einfluss auf die Usability und ist durch diesen Umstand eng mit ihr verwoben (Hake et al., 2002, Hermann und Peissner, 2003).

1.3 Ziele

Die kartographische Theorie muss in die dritte Dimension erweitert werden, Einfluss hierauf hat die kartographische Zeichentheorie (Tainz und Koch, 2002) mit ihren Bereichen Kartosemiotik aus, Syntaktik, Semantik und Pragmatik wie auch das Wissen um die kognitiven Prozesse. Als Beispiel sollen in dieser Arbeit dreidimensionale Visualisierungen virtueller stadträumlicher Umgebungen dienen, für die aus kartographischer Sicht noch kein ausreichender Theorie- und Methodenrahmen existiert. Ein erster Schritt einen solchen Rahmen zu etablieren, soll mit dieser Arbeit erfolgen. Als Grundlage hierfür dienen nicht-photorealistische Darstellungen, ein dynamisch wachsendes Teilgebiet in der Computergraphik, welche in hohem Maße geometrische und graphische Abstraktionen ermöglichen. In einem möglichst frühen Stadium sollen die Potentiale nicht-photorealistischer Darstellungen für die kartographische Stadtmodellvisualisierung erschlossen werden. Im Fokus dieser Arbeit steht die Entwicklung eines Methodenrahmens für nicht-photorealistische kartographische Darstellungen. Hierbei sollen die Designprinzipien der Kartographie erweitert und um die Abstraktionsmöglichkeiten des Nicht-Photorealismus ergänzt werden, um den Mangel einer allgemeinen Theorie für die Kommunikation von Geoinformationen zu beheben (Buziek, 2001).

Ein weiterer Aspekt dieses Integrationsprozesses ist die Wahl des Darstellungsmediums. Hierbei sind Analoge von Digitalen sowie große von kleinen Darstellungen zu unterscheiden. Die Größe der Darstellungsfläche hat einen entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis. Als weiterer Punkt muss der Nutzungskontext berücksichtigt werden. Die Zweckgebundenheit als primäres Ziel kartographischer Darstellungen muss durch einen nutzerorientierten Ansatz abgelöst werden.

Damit diese Ziele erreicht werden können wird angenommen, dass sich die graphischen Variablen auch im dreidimensionalen anwenden und zur Generierung einer nicht-photorealistischen Darstellung verwenden lassen, dass die nicht-photorealistische Darstellung weitreichende Freiheiten in der Gestaltung einer Visualisierung eröffnen und zu einer schnelleren Informationsaufnahme durch den Nutzer beitragen. Zusammengefasst stellen sich die Ziele, die mit dieser Arbeit verfolgt werden sollen, wie folgt dar:

- Erweiterung der kartographischen Theorie um Ansätze für einen Methodenrahmen für nicht-photorealistische kartographische Darstellungen.
- Integration der dritten Dimension in Theorien, Methoden und Ansätze der kartographischen Gestaltung.
- Nutzerorientiertes Design durch Integration von Wahrnehmung und Usability als essentielle Bausteine der modernen Kartographie.

Diese allgemeinen Ziele auf den Bereich der Stadtmodellvisualisierungen zugeschnitten ergeben die folgenden Forschungsfragen:

- Welche kartographischen Designprinzipien lassen sich in die dritte Dimension erweitern?
- Welche graphischen Variablen eignen sich zur Darstellung einer nicht-photorealistischen virtuellen stadträumlichen Umgebung?
- Wie beeinflussen sich Zweckmäßigkeit und Nutzeransprüche zur Erzeugung einer nutzerorientierten Darstellung?
- In welcher Form beeinflusst der Nutzungskontext (mobil vs. stationär) das Erscheinungsbild dreidimensionaler Darstellungen?
- Wie kann eine Informationsreduktion durch Abstraktion und Generalisierung in dreidimensionalen Darstellungen erfolgen?
- Wie beeinflussen Displaygröße, Auflösung und Informationsgehalt die Darstellung von Stadtmodellen auf verschiedenen Medien?

Wie diese Forschungsfragen in dieser Arbeit beantwortet werden, darüber gibt der nächste Abschnitt Auskunft, in dem die Struktur und der Aufbau vorgestellt werden.

1.4 Aufbau der Arbeit

Die Arbeit gliedert sich in insgesamt acht Kapitel. Das erste Kapitel, die Einleitung beinhaltet eine kurze Einführung in das Thema und den Kontext der nicht-photorealistischen Darstellung von virtuellen stadträumlichen Umgebungen. Die Einordnung der Arbeit in den Kontext der internationalen kartographischen Forschung ist ebenso Bestandteil des Einleitungskapitels wie die Forschungsfragen auf denen diese Arbeit beruht und zu deren Beantwortung sie beitragen soll.

Kapitel 2 „Kartographisches Design und Stadtmodellvisualisierung“ führt den Leser an die grundlegenden Begrifflichkeiten der Arbeit sowie ihre Entstehung und Entwicklung heran. Es wird ein Einblick in die kartographische Modellbildung gegeben, die Entwicklung des kartographischen Designs aufgegriffen sowie auch die Bedeutung der dritten Dimension für kartographische Darstellungen umrissen.

Der Nicht-Photorealismus wird in Kapitel 3 näher betrachtet und zum Realismus und Photorealismus abgegrenzt. Das Verhältnis des Nicht-Photorealismus zur Kunst und Ästhetik ist ebenso Gegenstand dieses Kapitels. Ein weiterer wichtiger Teil dieses Kapitels wird die Beschreibung von Stadtmodellen für einen mobilen Nutzungskontext sein.

In Kapitel 4 „Wahrnehmung“ wird die Wahrnehmung des Menschen im Vordergrund stehen. Insbesondere welche Faktoren und Aspekte die Wahrnehmung von Informationen in einem komplexen Umfeld beeinflussen und wie diese für die nicht-photorealistische Stadtmodelldarstellung genutzt werden können. Die Entwicklungen in der Computergraphik haben einen entscheidenden Anteil daran, wie Informationen dargeboten und in Wissen transformiert werden. Am Ende des dritten Kapitels werden die Aspekte der Wahrnehmung mit den Besonderheiten von Stadtmodellen zusammengeführt, so dass erste Formen einer dreidimensionalen nicht-photorealistischen Stadtmodellvisualisierung deutlich werden.

Ein entscheidender Faktor, der in der Kartographie nicht außen vor gelassen werden darf, ist der Nutzer. In Kapitel 5 werden kartographische Produkte vor dem Hintergrund ihrer Zweckmäßigkeit und ihrer Nutzerorientierung betrachtet. Wie können die Bedürfnisse eines Nutzers in der Gestaltung von Stadtmodellvisualisierungen berücksichtigt werden. In

dem Kapitel wird auch der Frage nachgegangen, inwieweit sich die Bedürfnisse verschiedener Nutzer unterschiedlichen Stereotypen zuordnen lassen und welchen Einfluss die Stereotypen auf die Darstellung virtueller stadträumlicher Umgebungen haben.

Die Kapitel 2 bis 5 markieren die theoretischen Grundlagen der Arbeit. Sie dienen als Basis für die Entwicklung des Gestaltungsrahmens für nicht-photorealistische Stadtmodell-darstellungen und die Entwicklung beispielhafter Visualisierungen für die verschiedenen Zweck-Nutzer Kombinationen (Abbildung 1-3).

Die Kapitel 6 und 7 bilden zum einen die theoretische Grundlage, den Gestaltungs-rahmen, für nicht-photorealistische dreidimensionale Stadtmodell-darstellungen und zum anderen zeigen sie beispielhafte Anwendungen, wie der Nicht-Photorealismus als gestaltungsprägendes Merkmal bei einem Stadtmodell angewandt werden kann. In Kapitel 6 „Kartographischer Gestaltungsrahmen für Stadtmodell-darstellungen“ wird basierend auf den theoretischen Grundlagen der Kapitel 2 bis 5 ein Methoden-/ Gestaltungsrahmen für Stadtmodell-darstellungen entwickelt. Die Einflüsse der klassischen Kartographie wie kognitive Merkmale, Nutzerorientiertheit und Informationsfilterung bzw. die Generalisierung stellen einen wichtigen Baustein in dem Gestaltungsrahmen dar. Hinzu kommen noch die Einflüsse welche durch Berücksichtigung der Zweckmäßigkeit entstehen. In dem siebten Kapitel wird aufbauend auf dem Gestaltungsrahmen ein Variablensystem für die nicht photorealistische Stadtmodellvisualisierung vorgeschlagen, welches für verschiedene Zweck-Nutzer-Kombinationen zum Einsatz kommt. Eine subjektive Wertung über die Eignung des Variablensystems bildet den Abschluss des siebten Kapitels.

In Kapitel 8 werden die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst sowie ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen der Geovisualisierung im Bereich der Stadtmodell-darstellungen gegeben. Eine Zusammenstellung von Fragestellungen an denen sich zukünftige Forschungsinhalte orientieren können, bildet den Abschluss der Arbeit.

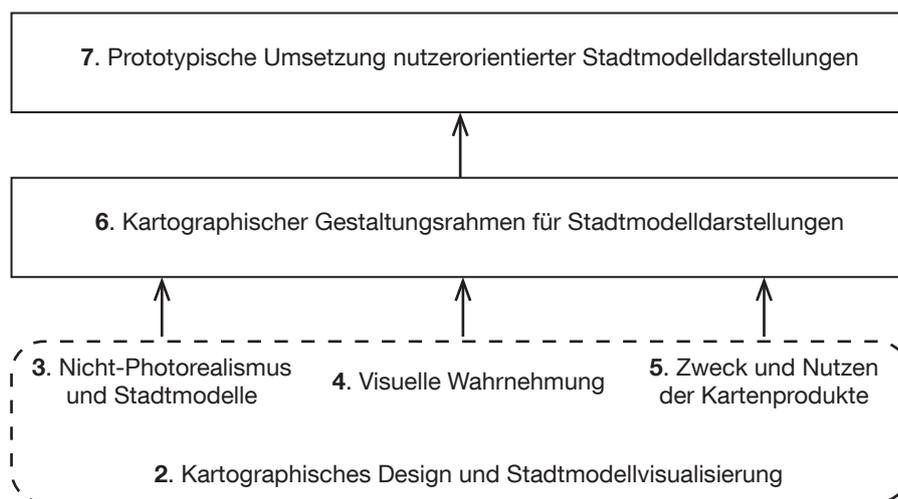


Abbildung 1-3: Struktur und Aufbau der Arbeit

2. Kartographisches Design und Stadtmodellvisualisierung

2.1 Entwicklung des kartographischen Designs

Zu den Grundlagen des kartographischen Designs gehören die kartographische Modellbildung mit ihrer Unterscheidung in digitale und analoge Modelle sowie mit den auf Informationstheoretischen Grundlagen basierenden Primär-, Sekundär- und Tertiärmodellen der kartographischen Wahrnehmung. Das kartographische Design beeinflusst die topographische und thematische Kartengestaltung wie auch die mobile Kartographie. Die dritte Dimension bzw. wie sich die Verwendung der dritten Dimension und das kartographische Design gegenseitig beeinflussen ist ebenso Gegenstand dieses Kapitels.

Die Kartographie als Wissenschaft ist spät aus dem Schatten anderer Disziplinen herausgetreten. Sie diente zu Beginn als darstellendes Mittel für die Eigentumsabgrenzung und den Eigentumsnachweis, die Katasterkarten tun dies heute noch (Grundbuchordnung i.d.F. 26.05.1994, zuletzt geändert am 15.12.2011), und hat sich erst spät aus den Zwängen einer Hilfswissenschaft befreit (Hake et al., 2002). Heute steht die Kartographie als eigenständige Wissenschaft und vereint Bereiche aus den Geowissenschaften, der Informatik und der Psychologie.

Die Grundlage kartographischer Darstellungen sind in vielen Bereichen Informationen mit einem räumlichen Bezug, in diesem Fall spricht man dann von Geodaten oder Geoinformationen (Bollmann und Koch, 2001). Die kartographische Darstellung nimmt die Rolle des Übertragungsmediums ein. Geoinformationen, die als Koordinaten-Tupel über die Umwelt vorliegen, und somit wenig anschaulich sind, müssen auf geeignete Weise einem Nutzer dargeboten werden. Um diesen Prozess theoretisch zu beschreiben bedient man sich Informationstheoretischen Grundlagen, die den Weg der Informationen von einem Sender über einen geeigneten Kanal zu einem Empfänger beschreiben (Shannon, 1948, Hake et al., 2002). Dieser Kanal können gedruckte Karten, wie auch digitale kartographische Darstellungen sein. In den meisten Fällen handelt es sich jedoch um zweidimensionale Abbildungen der Umwelt, wobei zu beachten gilt, dass auch dreidimensionale Stadtmodelle auf eine zweidimensionale Fläche zur Darstellung projiziert (Bungartz et al., 2002) werden. Im allgemeinen beschreibt der Begriff kartenverwandte Darstellungen, wie in Hake et al. (2002) und Häberling (2003) erwähnt, die zweidimensionale Abbildung dreidimensionaler Informationen. (vgl. Abschnitt 2.4 und Abschnitt 4.2.2)

Die Grundlage des kartographischen Darstellungsprozesses findet sich in der Modelltheorie. Die Kartographie unterscheidet hierbei zwischen verschiedenen Modellen, Modellebenen und Modellvarianten.

2.2 Kartographische Modellbildung

Die Kartographie bedient sich des wissenschaftlichen Modellbegriffes, um die Wirklichkeit, den Raum, in eine Karte oder kartenverwandte Darstellung zu überführen. Ein Modell steht stellvertretend für die Wirklichkeit mit einem verringerten oder generalisierten Informations-

angebot. Nach Stachowiak (1973) zeichnet sich ein Modell durch drei wesensimmanente Merkmale aus:

- Ein Modell stellt eine „Abbildung“ eines Originals dar, wobei das als Original betrachtete vom Wesen her auch ein Modell sein kann.
- Ein Modell wird im Allgemeinen nicht alle Attribute eines Originals wiedergeben, es wird nur solche Attribute enthalten, die der Konstrukteur des Modells von seinem Wissens- und Erkenntnisstandpunkt aus für wichtig erachtet. Dies bezeichnet man mit „Verkürzung“. (Im kartographischen Sprachgebrauch würde die Generalisierung dies am besten repräsentieren, siehe auch „Primärmodell“ in Abschnitt 2.2.2)
- Modelle sind „pragmatisch“, sie müssen sich ihren Originalen nicht unter allen Umständen zweifelsfrei zuordnen lassen.

Im kartographischen Sprachgebrauch beschreiben Hake et al. die Repräsentation des Raumes als „*Modell von bestimmten Objekten für bestimmte Informanten zu bestimmten Zwecken und im Rahmen bestimmter Zeiten*“ (Hake et al. (2002), Seite 19). Die obigen Beschreibungen implizieren, dass sich die Kartographie verschieden ausgeprägter Modelle abhängig von Kontext, Zweck, Nutzer und Nutzungssituation bedient. Die Kenntnis und die unterschiedlichen Verwendungen des Modellbegriffs in der Kartographie sind für die Entwicklung einer nutzerorientierten Visualisierung stadträumlicher Umgebungen unumgänglich, um insbesondere die Nutzerorientierung und auch die abstrakte, informationsreduzierte Darstellung im kartographischen Theorie Gebäude zu verorten.

Die Unterscheidung in analoge und digitale Modelle stellt das wichtigste Gliederungsmerkmal dar. Werden die von Kriz (1999) und Kriz (2001) eingeführten Prozessbereiche „Gestaltung“, „Kognition“ und „Kommunikation“ im klassischen Ablauf von Entstehung und Gebrauch einer Karte betrachtet, ergibt sich die von Grünreich (1985) eingeführte typische Modellfolge von Primär-, Sekundär- und Tertiärmodell als Verbindung der Stadien Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und Informationsweitergabe. Ein weiterer typischer Modellansatz ist die Unterscheidung in geo- und egozentrische kartographische Modelle (Meng, 2005), deren Bedeutung in vielen Bereichen wächst.

2.2.1 Analoge und digitale Modelle

Die Unterscheidung in analoge und digitale Modelle ist eines der wichtigsten Unterscheidungsmerkmale in der Kartographie. Hake et al. (2002) Seite 20 unterscheiden zwischen analogen und digitalen Modellen. Den analogen, wie auch den digitalen Modellen ist gemein, dass sie sich eines Schemas³ zur Repräsentation des Raumes bedienen. Das Schema definiert die Struktur der Daten, welche Objekte mit welchen Attributen erfasst werden und im Falle einer Visualisierung Gestaltungsregeln (Signaturierung, Farbwahl etc.) nach denen die Daten dargestellt werden. Es wird aber auch ersichtlich, dass zwischen der internen Repräsentation in einem System und der Repräsentation als Darstellung/Visualisierung zu unterscheiden ist.

Vor dem Hintergrund digitaler kartographischer Produkte lässt sich daraus folgern, dass analoge Modelle die Visualisierung eines digitalen Modelles nach außen darstellen. Insbe-

³ Ein Schema definiert die formale Struktur in diesem Fall von Geodaten/Geoinformationen. Es kann als ein Art Schablone/Konzept verstanden werden.

sondere bei der Betrachtung der typischen kartographischen Modellfolge von Primär-, über Sekundär- bis hin zum Tertiärmodell (Hake et al., 2002) ist eine eindeutige Zuordnung nicht immer gegeben. Die zunehmende Nutzung bildschirmbasierter Darstellungen erschwert das Finden einer klaren Grenze zwischen analogen und digitalen Modellen. Der Übergang vom analogen zum digitalen Modell insbesondere bei Bildschirmdarstellungen, die in der Regel einen hohen Grad an Interaktion zulassen (Buziek, 2001), ist schwer zu ziehen, deren Verständnis für den kartographischen Kommunikationsprozess aber notwendig, insbesondere für die Etablierung neuer kartographischer Gestaltungsansätze für dreidimensionale Darstellungen.

2.2.2 Die Drei-Modell-Theorie im kartographischen Kommunikationsprozess

Die Drei-Modell-Theorie (Hake et al., 2002) ist zur Darstellung und zum Verständnis des kartographischen Kommunikationsprozesses besser geeignet als die Unterscheidung in analoge und digitale Modelle (Abbildung 2-1). Die im vorigen Abschnitt dargelegte Unterteilung lässt nicht nur den Nutzer außer Betracht sondern bezieht auch die weiteren am Kommunikationsprozess beteiligten Personen nicht mit ein. Nach der Drei-Modell-Theorie beginnt der kartographische Kommunikationsprozess mit der Erfassung der Daten durch einen Fachmann und geht über den Kartographen, der die Visualisierung erzeugt hin zum Nutzer der aus den dargestellten Geoinformationen einen Wissensgewinn erzielen soll.

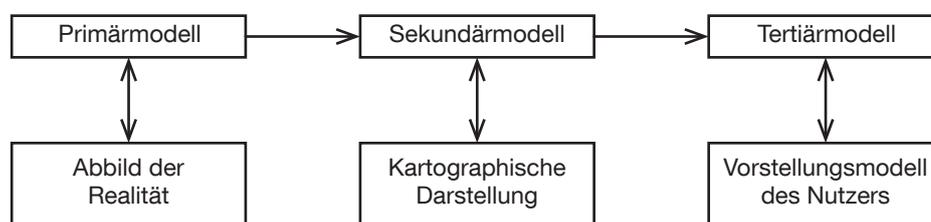


Abbildung 2-1: Primär-, Sekundär- und Tertiärmodell im kartographischen Kommunikationsprozess

Das **Primärmodell** bildet hierbei den Ausgangspunkt. Es beinhaltet die durch einen Fachmann erfassten und modellierten Daten. Die Datenerfassung erfolgt durch Messung und Analyse realer Gegebenheiten (topographische Datenerfassung) und wird in verschiedenen Formen gespeichert z.B. in Dateien oder Datenbanken. Das Primärmodell bildet somit die Basis des Gestaltungsvorganges und wird direkt von einem realen Objekt abgeleitet. Die Bildung des Primärmodells lässt sich weiter unterteilen und kann in die Schritte konzeptionelle Modellierung, logische Modellierung und physikalische Modellierung (Joos, 1999, Wiltshko, 2003) gegliedert werden. Hieraus folgt dann zwangsläufig, dass ein Primärmodell schon vor der Erfassung bzw. Datenaufnahme existieren muss, um diese strukturiert durchzuführen (Hake et al., 2002, Häberling, 2003). Das Primärmodell liefert insofern ein abstraktes Abbild der Realität und ist abhängig von dem später zu erzeugenden Produkt.

Den zweiten Schritt in der Modellfolge bildet das **Sekundärmodell**. Dieses Modell beschreibt den Schritt, in dem die Ausgangsdaten, das Primärmodell, in eine kartographische Darstellung übersetzt werden. In diesem Schritt werden die kartographischen Techniken

und Methoden angewandt, um eine Darstellung zu erzielen. Häberling (2003) ordnet die GIS gestützte Ausgabe der Daten des Primärmodells unter Berücksichtigung von Hake et al. (2002) eindeutig dem Bereich des Sekundärmodells zu. Vor diesem Hintergrund lässt sich verallgemeinert feststellen, dass die Visualisierung von Geodaten allgemein dem Sekundärmodell zugeordnet werden muss, dies lässt sich auf den Bereich der dreidimensionalen Stadtmodelle erweitern, bei denen es sich im Allgemeinen um Geodaten bzw. Geoinformationen handelt. Diese Zuordnung ist möglich, da die Modelltheorie des kartographischen Kommunikationsprozesses unabhängig von der Ausprägung der zugrunde liegenden Daten ist.

Der Nutzer als letzter Spieler in der Kette des kartographischen Kommunikationsprozesses und als Empfänger der dargestellten Informationen transformiert durch einen kognitiven Prozess (Swienty et al., 2007) das Sekundärmodell des Kartographen in Wissen. Die in der kartographischen Visualisierung dargestellten Sachverhalte werden vom Nutzer mit seinem schon vorhandenen Wissen zusammengeführt, er erweitert seine „mentale Karte“⁴ und gelangt zu einer „neuen“ Ansicht über räumliche Zusammenhänge (Kuipers, 1982). Dieses beim Nutzer entstandene Vorstellungsmodell wird in der Literatur auch als **Tertiärmodell** bezeichnet (Hake et al., 2002, Häberling, 2003), der Kartograph kann dieses Modell nur indirekt durch eine geeignete kartographische Darstellung beeinflussen. Hierzu muss er über Kenntnisse der Kognition insbesondere der visuellen Wahrnehmung (Kapitel 4) verfügen und den Nutzer studieren, um eine an den Bedürfnissen des Nutzers orientierte Darstellung zu erzeugen (Hermann und Peissner, 2003). Die Güte⁵ des Tertiärmodells hat entscheidenden Einfluss auf die Orientierung des Nutzers, wie er sich z.B. in unbekanntem Umgebungen zurechtfindet und bewegt (Darken und Sibert, 1996b).

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Modellen dienen als Ansatzpunkte zur Weiterentwicklung der theoretischen Basis für die Darstellung dreidimensionaler Informationen nach kartographischen Gesichtspunkten. Das Primärmodell muss den Anforderungen an eine geeignete Visualisierung entsprechen, um mit dem Sekundärmodell die entscheidende Wirkung beim Nutzer (Tertiärmodell) zu erzielen.

2.2.3 Egozentrische und geozentrische Darstellungen

Der kartographische Kommunikationsprozess lässt sich wie im vorherigen Abschnitt dargestellt sehr anschaulich in drei Stadien oder Modelle von der Entstehung bis zum Gebrauch einteilen. Das Primärmodell für die Datenerfassung und das Tertiärmodell für den Eindruck über die Umwelt, der beim Nutzer erzeugt wird. Das Sekundärmodell stellt das Stadium dar, auf welches der Kartograph den größten Einfluss ausüben kann. Durch Anwendung unterschiedlicher Designtechniken (Abschnitt 2.3) unter Berücksichtigung der Nutzer und seiner Bedürfnisse (Abschnitt 5.3) kann durch die Ausgestaltung des Sekundärmodells die Eindeutigkeit und Geschwindigkeit (Swienty et al., 2008a) des Wissenserwerbs sowie die Orientierung in unbekanntem Gegenden maßgeblich beeinflusst werden (Darken und Sibert, 1996a).

Kartographische Darstellungen, in diesem Fall stellvertretend für die physische Ausgestaltung des Sekundärmodells, sollten durch die Entwicklungen insbesondere vor dem

4 Die mentale Vorstellung über den geographischen Raum wird als mentale oder kognitive Karte bezeichnet.

5 Güte wird hier als von „Qualität“ abgeleiteter Begriff für die Beschaffenheit einer Sache, in diesem Fall des Tertiärmodells, verstanden.

Hintergrund mobiler Kartographie in geo- und egozentrische Darstellungen (Abbildung 2-2) unterschieden werden. Nach Meng (2005) lassen sich geozentrische und egozentrische Darstellungen durch die Merkmale in Tabelle 2-1 unterschieden.

Eine **geozentrische** Darstellung versucht, die Geometrie und Semantik der Umwelt neutral und sachlich wiederzugeben. Sie richtet sich an einen großen Nutzerkreis und erreicht durch ihren Abstraktionsgrad eine Aktualität, die über einen möglichst langen Zeitraum bestand hat (Meng, 2004b). Folglich finden sich in geozentrischen Karten Darstellungen von Objekten, die einem langen Veränderungszyklus unterliegen. Weiter sollte ihre Symbolisierung möglichst wenig von Nutzerpräferenzen beeinflusst werden. Als Beispiele für geozentrische Karten sind topographische Karten der Landesvermessung (Hake et al., 2002, Slocum et al., 2005) zu nennen, welche die Natur bzw. den Raum in ihrer Allgemeinheit abbilden und deren Design oder Erscheinungsbild über einen langen Zeitraum nur minimal an gesellschaftliche und technische Veränderungen angepasst wird.

Tabelle 2-1: Unterschiede geozentrischer und egozentrischer Darstellungen (nach Meng 2005)

Geozentrisch	Egozentrisch
Für einen langen Gebrauchszeitraum konzipiert	Für kurzen „ad-hoc“ Gebrauch konzipiert
Großer Nutzerkreis (mehrere Personen)	Kleiner Nutzerkreis (oft nur eine Person)

Egozentrische Karten richten sich an einen kleinen Nutzerkreis, der z.B. nur aus einer Person bestehen kann. Das Merkmal des „kurzen“ oder „ad-hoc“ Gebrauchs ist ein weiteres typisches Merkmal egozentrischer Karten. Nach Steinrücken (2009) kommt bei egozentrischen Karten noch hinzu, dass sie oftmals zum Zeitpunkt ihrer Benutzung erstellt werden und die graphische Ausprägung durch den Nutzer beeinflussbar ist, man kann in diesem Zusammenhang auch von einer personalisierten Karte sprechen. Egozentrische Karten oder Darstellungen beziehen sich nach Meng auf ein Egozentrum, dass im engeren Sinne als „*ein begrenzter Fokusbereich eines individuellen Kartennutzers*“ (Meng (2004b) Seite 2) definiert wird.

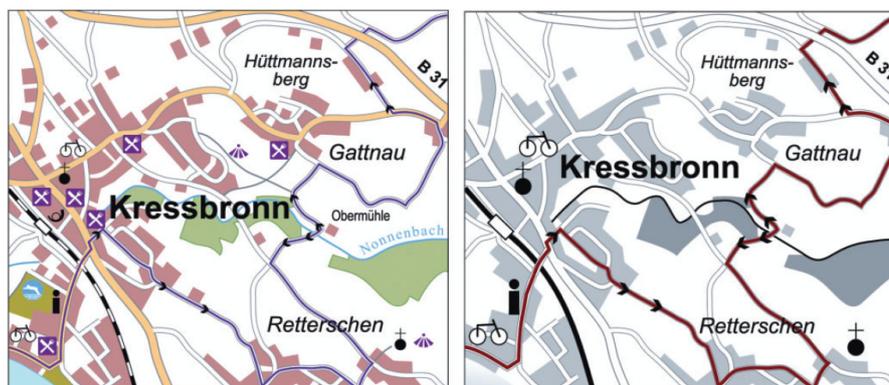


Abbildung 2-2: Links – geozentrische Darstellung; rechts – egozentrische Darstellung (aus Meng 2005)

Wie aus Abbildung 2-2 ersichtlich wird liegen die Unterschiede zwischen den beiden Visualisierungsmodellen in einer besonders hervorzuhebenden Thematik, wie man sie insbesondere aus der Thematischen Kartographie (Imhof, 1972) kennt. In obiger Abbildung

konzentriert sich die egozentrische Karte (Abbildung 2-2 rechts) auf die Darstellung einer Radroute. Steinrücken (2009) konzentriert sich in seiner Arbeit ebenso auf die Nutzer angepasste bzw. durch den Nutzer wählbare Darstellung von Freizeitinformationen, was in einer personalisierten Karte mündet (Meng, 2004b, Meng, 2004a).

In welcher Ausprägung das Sekundärmodell dem zukünftigen Nutzer dargeboten wird hängt in erster Linie von dem beteiligten Kartographen ab. Egozentrische und geozentrische Darstellungen können somit als zwei unterschiedliche Ausprägungen des Sekundärmodells (Abbildung 2-3) betrachtet werden.

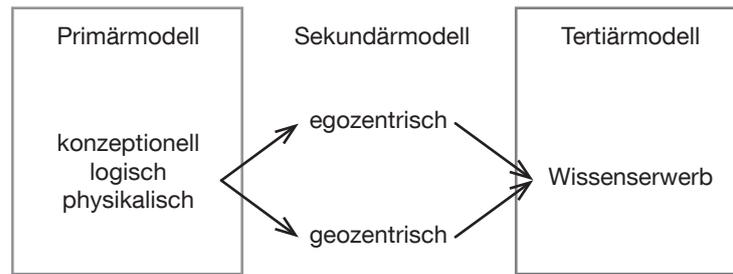


Abbildung 2-3: Bedeutung ego- und geozentrischen Designs im kartographischen Kommunikationsprozess

Kartenentwürfe, die den Nutzer bzw. dessen Anforderungen in den Mittelpunkt stellen, gleiches gilt auch für Designansätze zur Darstellung dreidimensionaler Stadtmodelle, lassen sich am ehesten über einen egozentrischen Designansatz verwirklichen. So lassen sich in der Modellfolge vom Primär- zum Sekundärmodell Darstellungen durch die bewusste Anbringung von z.B. Anamorphosen⁶ an Objekte des Raumes bestimmte Sachverhalte oder Orte hervorheben (Meng, 2004b). Die durch die Anamorphose eingeführten Verzerrungen des Raumes widersprechen den Annahmen aus der traditionellen Kartographie, einer korrekten, verzerrungsfreien Wiedergabe der Realität. In diesem Fall spricht man von kartographischen Anamorphosen und unterscheidet lagebezogene Verzerrungen, sachbezogene Verzerrungen und zeitbezogene Verzerrungen (Hake et al., 2002)

Eine egozentrische Karte hat im Vergleich zu einer geozentrischen Karte nach Meng (2004b) die folgenden Merkmale:

- „Sie ist hoch adaptiv, besonders wenn das Egozentrum einen flüchtigen Charakter aufweist;
- Sie dient kurzfristigen, speziellen und/oder zeitkritischen Aufgabenstellungen sehr effizient. Es ist besonders der Fall in einem mobilen Benutzungskontext;
- Sie ist auf die speziellen Nutzerbedürfnisse zugeschnitten und bietet daher eine „one-to-one“ statt „one-fit-for-all“-Lösung an;
- Sie ist graphisch auffällig und inhaltlich leicht zugänglich weil das Egozentrum und die restlichen Inhalte differenziert dargestellt werden.“

Meng (2004b), Seite 2

⁶ Unter einer Anamorphose versteht man eine gewollte Veränderung der Gestalt die nur unter bestimmten Bedingungen unverzerrt sichtbar ist.

Die Einordnung bekannter Web Mapping Applikationen in diesem Rahmen liefert weitere Ansatzpunkte für das Design dreidimensionaler Stadtmodelle. Ein Web Map Service (OGC, 2006) siedelt sich zwischen ego- und geozentrischer Darstellung an. Der Web Map Service (WMS) ist für einen großen Nutzerkreis und einen langen Gebrauchszeitraum konzipiert, findet aber überwiegend in der kurzfristigen Nutzung Anwendung. In dieser Ausprägung fungiert der WMS als Basisinformation für verschiedene Thematiken. Insbesondere mobile kartographische Darstellungen sind dem Bereich der egozentrischen Modellierung zuzuordnen, ein Beleg dafür, dass mit der nicht-photorealistischen Darstellung von Stadtmodellen der Weg der egozentrischen Visualisierung beschränkt wird.

2.2.4 Kartographische Modelle und Darstellungen im Überblick

In den Abschnitten 2.2.1 bis 2.2.3 sind die verschiedenen aus der Kartographie bekannten Modelle und Darstellungsformen und ihre Unterscheidungsmerkmale kurz vorgestellt worden. Die Unterscheidung in analoge und digitale kartographische Modelle, stellt ein klassisches Unterscheidungsmerkmal dar. Diese Einteilung kartographischer Erzeugnisse spiegelt in erster Linie die Art der Datenhaltung und die Art der Präsentation wieder. Ein Merkmal das weiterhin relevant erscheint, deren Bedeutung weiterhin wichtig ist, zugleich durch den Wandel in der Informationsgesellschaft (O'Reilly, 2005) in der Wahrnehmung aber zurückgedrängt wird.

Die Drei-Modell Theorie ist losgelöst von der Datenhaltung und dem Ausgabemedium, sie bezieht den Nutzer in ihre Abfolge vom Primärmodell bis zum Tertiärmodell mit ein und beschreibt gleichzeitig wie sich alle drei Modelle gegenseitig bedingen und die Qualität eines jeden Modells für den Erfolg einer kartographischen Darstellung von zentraler Bedeutung ist. Häberling (2003 Seite 22) schreibt hierzu, dass *„die grundlegenden Geodaten bereits so modelliert werden, dass sie in einer sinnvollen Form zur Gestaltung und Weiterverwendung vorliegen, ohne dabei die effektive grafische Umsetzung zu kennen.“* Dies lässt den Schluss zu, dass die grafischen Gestaltungselemente und –prinzipien eine allgemeine Ausdruckskraft und Bedeutung besitzen müssen, so dass unterschiedliche Geodaten effektiv dargestellt werden können. Dieser Modellansatz lässt sich ebenso auf dreidimensionale Darstellungen anwenden, die dreidimensionale Repräsentation des Raumes muss derart gestaltet sein, das sich beim Nutzer ein Tertiärmodell bildet, durch welches er unabhängig von den Eingangsdaten einen möglichst großen Erkenntnisgewinn erreicht.

Die Unterscheidung in ego- und geozentrische Darstellungen stellt eine weitere Sichtweise auf kartographische Abbildungen dar. Sie stellt den Nutzer ins Zentrum der Betrachtung, die Karten orientieren sich zum einen am Standpunkt bzw. Aufenthaltspunkt (dem Egozentrum) sowie auch an den Bedürfnissen des Nutzers, die er mit der Karte befriedigen möchte. Kartographische Darstellungen mit einem hohen Grad an Interaktivität, wie sie Web Mapping Anwendungen und dreidimensionalen Stadtmodellen innewohnt, erfüllen die Voraussetzungen für eine egozentrische Darstellung und eine erweiterte Sichtweise auf das Egozentrum des Nutzers. Eine Sichtweise, welche die Entwicklungen in der Informationstechnologie widerspiegelt. Zur nutzerorientierten und egozentrischen Darstellung von Geoinformationen finden sich unterschiedliche Beispiele in der Literatur (Reichenbacher, 2005, Swienty, 2008, Swienty et al., 2008a, Krisp et al., 2009).

Zum Verständnis und zur Weiterentwicklung der kartographischen Designansätze und Methoden, zur Anwendung im dreidimensionalen Raum und für ein Nutzerorientiertes Design, ist die grundlegende Kenntnis der, in der Kartographie gebräuchlichen Modellbegriffe unumgänglich (vgl. Abschnitt 1.3). Sie bilden die Basis für den, in dieser Arbeit vorgestellten Gestaltungsrahmen zur nicht-photorealistischen Darstellung von dreidimensionalen Stadtmodellen.

2.3 Kartographisches Design

Die Karte als Produkt, welches aus einem kartographischen Erstellungsprozess hervorgeht, kann unterschiedliche Ausprägungen besitzen. In der traditionellen Kartographie unterscheidet man zwischen topographischen und thematischen Karten, hinzukommen noch kartenverwandte Darstellungen sowie in neuerer Zeit auch dreidimensionale Karten (Häberling, 2003, Hake et al., 2002). Jedem Darstellungstyp haften seine eigenen Gestaltungsprinzipien an, deren systematische Kenntnis für die Beurteilung der Eignung bekannter und neuer Designprinzipien vor dem Hintergrund schnell zu erfassender und nutzerorientierter Visualisierungen nötig ist. Die Kenntnis des kartographischen Designs für zweidimensionale Karten bildet somit eine Grundvoraussetzung, um eben diese Prinzipien auch im Dreidimensionalen effektiv und gewinnbringend einzusetzen.

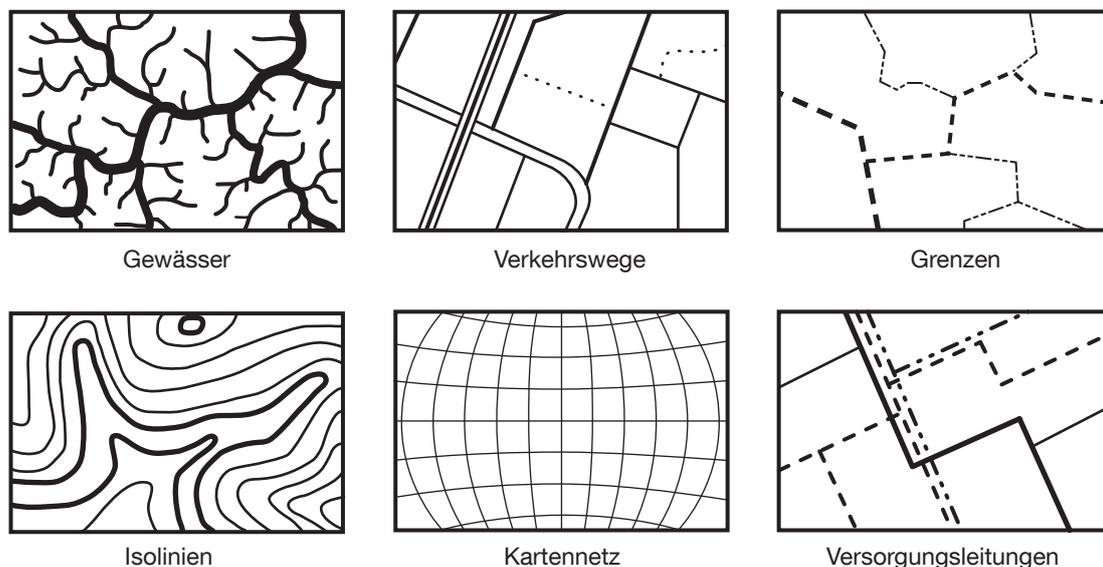


Abbildung 2-4: Beispiele zum graphischen Gefüge aus Hake et al. (2002) Seite 107

Das kartographische Design, deren Grundlage das grafische System bildet, gliedert sich in die visuellen Gestaltungselemente (Farbe, Form, Größe etc.) und die Darstellungsprinzipien bzw. die Darstellungsgrundsätze (grundsätzliche Gestaltungsmöglichkeiten von Geoinformationen). Ein graphisches Gefüge (Abbildung 2-4) entsteht, wenn die Ausprägung der dargestellten Objekte, zusammengesetzt aus Elementen und Zeichen, den gesamten

Eindruck einer Karte bestimmen (Hake et al., 2002) und beim Nutzer eine positive Wirkung erzeugen. Aus dieser Sichtweise heraus beinhaltet das kartographische Design einen mentalen und einen physischen Anteil (Slocum et al., 2005). Der physische Teil des kartographischen Designs wird in diesem Unterabschnitt behandelt, für die Grundlagen zur visuellen Informationsaufnahme und -verarbeitung sei auf Kapitel 4 verwiesen.

Das kartographische Design beeinflussen zum einen die geometrischen Primitive aus denen eine (Karten)-Darstellung besteht, und zum anderen die auf diese angewandten graphischen Variablen.

Bei der Darstellung dreidimensionaler Objekte handelt es sich ebenso um graphische Gefüge (Abbildung 2-4), die sich aus den geometrischen Primitiven (Abschnitt 2.3.1) zusammensetzen lassen und deren äußere Erscheinung durch die entsprechende Anwendung (Abschnitt 2.3.3) der graphischen Variablen (Abschnitt 2.3.2) beeinflusst werden kann. Das Bewusstsein um das Zusammenspiel von geometrischen Primitiven und graphischen Variablen zur Kartengestaltung ist nötig, um deren Anwendung zur Erzeugung nicht-photorealistischer dreidimensionaler Darstellung zu beurteilen (vgl. Abschnitt 1.3) und die kartographische Theorie weiter zu entwickeln.

2.3.1 Geometrische Primitive

Zu den Elementen, aus denen eine Kartengraphik aufgebaut ist, zählen die geometrischen Primitive: Punkt, Linie und Fläche sowie zusammengesetzte Zeichen, Halbton und Schrift. Hake et al. (2002) zählt diese Elemente zu den kartographischen Gestaltungsmitteln, die durch den geeigneten Einsatz der graphischen Variablen ein Kartenbild ergeben.

Punkte geben in einer Karte die Lage eines Objektes an. Abhängig von einem gewählten Maßstab kann der Punkt auch als Repräsentation für eine Fläche stehen. Die graphische Variabilität des Punktes ist stark begrenzt, so dass sich zur Anwendung nur bestimmte graphische Variablen eignen (vgl. hierzu Abschnitt 2.3.2). **Linien** geben ebenfalls die Lage von z.B. Straßen oder Wegen oder anderen linearen Objekten (Abbildung 2-4) an. Die Kodierung semantischer Informationen erfolgt auch hier über die schon angesprochenen graphischen Variablen. Als letztes geometrisches Primitiv stellen **Flächen** die Objekte dar, die eine zweidimensionale Ausdehnung besitzen wie z.B. Seen, Äcker, Städte etc. Auf sie lassen sich weitere graphische Variablen anwenden. Die Anwendung formverändernder Verfahren zur Gestaltung von Flächen ist nur in begrenzten Maßen, durch z.B. eine Anamorphose möglich. Aus den geometrischen Primitiven lassen sich auch zusammengesetzte Zeichen erzeugen, die in der traditionellen Kartographie ebenfalls eine wichtige Rolle einnehmen.

Die geometrischen Primitive finden auch im dreidimensionalen ihre Entsprechung, Punkte repräsentieren Knoten, Linien die Kanten von Objekten und die Flächen entsprechen dem Volumen (Abbildung 2-5). Die Flächen aus denen sich das Volumen zusammensetzt sind im Bereich der dreidimensionalen Stadtmodelle aufgrund ihrer Semantik den Fassaden zuzuordnen (Jahnke et al., 2009b). Dies lässt den Schluss zu, dass sich die graphischen Variablen grundsätzlich für die Gestaltung dreidimensionaler Darstellungen wie Stadtmodelle einsetzen lassen. An die Beantwortung der Fragen, in welchem Maß sich die verschiedenen graphischen Variablen in der Stadtmodellvisualisierung einsetzen lassen

und welchen Beitrag sie für die Darstellung auf mobilen Geräten leisten können, um die Erscheinung in bestimmter und typischer Weise zu verändern, soll in dem kommenden Abschnitt herangeführt werden.

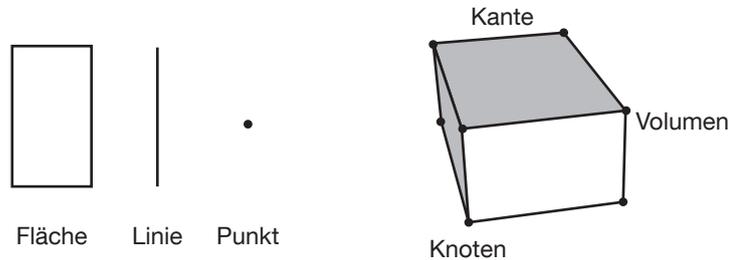


Abbildung 2-5: Geometrische Primitive der traditionellen Kartographie links und ihre Entsprechungen im Dreidimensionalen

2.3.2 Die visuellen Gestaltungselemente

Die erste systematische Beschreibung graphischer Gestaltungsmittel findet sich in der „Sémiologie graphic“ von Jacques Bertin (1967), die 1974 als „Graphische Semiologie“ (Bertin, 1974) in deutscher Übersetzung erschienen ist. Darin erläutert er die Methodik und Anwendung graphischer Darstellungsmittel für Diagramme, Netze und Karten. Insbesondere die Auswirkung der Darstellungsmittel für Karten ist von besonderer Bedeutung, da Bertin bei seiner Analyse „*die Bewegung in jeder Form...*“ sowie „*das dreidimensionale...*“ (Bertin (1974) Seite 50) ausschließt, dies aber inhärente Merkmale virtueller dreidimensionaler Stadtmodelle sind. Aus diesem Grund ist die Beantwortung der Frage „*Welche graphischen Variablen eignen sich zur Darstellung einer nicht-photorealistischen virtuellen stadträumlichen Umgebung?*“ ebenso wie die Frage „*Welche kartographischen Designprinzipien lassen sich in die dritte Dimension erweitern?*“ (Abschnitt 1.3) für diese Arbeit von besonderer Bedeutung.

Bertin spricht von „Flecken⁷“ die auf einer Grundlage wie weißem Papier eine Karte entstehen lassen. Die Position eines Fleckes wird durch die Koordinaten des Objektes, welches es repräsentieren soll, bestimmt. Nach Bertin bringt ein Fleck in der Ebene die Beziehung zwischen zwei Wertereihen (Koordinaten) zum Ausdruck. Der Fleck selber kann sich hinsichtlich der visuellen Variablen

- Größe,
- Helligkeitswert,
- Muster,
- Farbe,
- Richtung und
- Form

⁷ „Damit der Fleck sichtbar wird, muß er das einfallende Licht anders reflektieren als das Papier auf dem er sich befindet.“ Bertin (1974) Seite 50

ändern. Als **Implantationen** beschreibt Bertin die Bedeutungen, die ein Fleck in der Ebene annehmen kann, dies sind die geometrischen Primitive Punkt, Linie und Fläche (siehe Abbildung 2-5). Mit den beiden Dimensionen der Ebene und den Variationen der visuellen Variablen spannt sich ein dreidimensionaler Raum für Darstellungen in der Ebene auf. In einer Karte sind die Dimensionen der Ebene fixiert, so dass sich durch die Variationen der visuellen Variablen eine aussagefähige Kartengraphik ergeben kann. Somit stehen dem Kartographen acht (die sechs oben erwähnten und die beiden Dimensionen der Ebene) visuelle Variablen zur Verfügung, wobei anzumerken ist, dass bei Betrachtung räumlicher Informationen die Variablen der Ebene nicht zur Verfügung stehen.

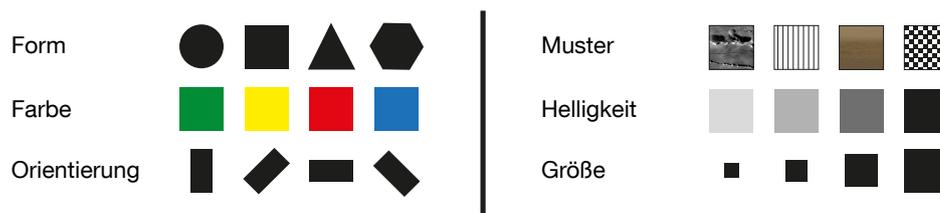


Abbildung 2-6: Die sechs graphischen Variablen nach Bertin (1967)

Zur Unterscheidung hinsichtlich ihrer Wahrnehmbarkeit werden die visuellen Variablen von Bertin (1974) in Gliederungsstufen eingeteilt. Mit dieser Einteilung kann die Eignung der Variablen für bestimmte Darstellungen explizit beschrieben werden. Es werden vier Gliederungsstufen unterschieden:

- **Assoziativ (=)**: Eine Variable ist assoziativ wahrnehmbar, wenn alle Zeichen als gleichartig betrachtet werden.
- **Selektiv (≠)**: Eine Variable ist selektiv wahrnehmbar, wenn alle Zeichen als verschieden betrachtet werden; sie bilden Familien.
- **Geordnet (O)**: Eine Variable ist als geordnet wahrnehmbar, wenn alle Zeichen als geordnet betrachtet werden.
- **Quantitativ (Q)**: Eine Variable ist quantitativ, wenn alle Zeichen als untereinander proportional betrachtet werden.

Die Ausdrucksmöglichkeiten für die verschiedenen visuellen Variablen lassen sich anhand dieser Gliederungsstufen beschreiben:

Die **Dimensionen der Ebene** sind zu allen Gliederungsstufen zugehörig. Steinrücken führt hierzu aus: „...zwei Kreise gleicher Größe, die sich an verschiedenen Orten der Ebenen befinden, werden als verschieden angesehen (Selektivität), andererseits aber trotz ihrer Lage als gleichartig erkannt (Assoziativität). Weiterhin können Zeichen entlang einer Geraden geordnet werden, Quantitäten sind über Schätzung oder Messung von Strecken, Winkeln und Flächen wahrnehmbar.“ (Steinrücken (2009) Seite 67)

Variationen der **Größe** sind in Form der Änderung des Durchmessers bei Punkten und der Änderung der Breite bei Linien möglich. Die Variation der Größe wirkt dissoziativ unterstützt aber die selektive, geordnete und quantitative Darstellung.

Variationen des **Helligkeitswertes** wirken ebenfalls dissoziativ, Informationen in selektiver und geordneter Form lassen sich durch die Variation des Helligkeitswertes darstellen.

Unter dem Helligkeitswert wird das Verhältnis von farbigen und nicht farbigen Anteilen einer Einheitsfläche verstanden.

Variationen des **Musters** wirken assoziativ, selektiv und ordnend. Als Muster wird „die Menge (Anzahl) der unterscheidbaren Flecken innerhalb einer Einheitsfläche bei konstantem Helligkeitswert“ (Bertin (1974) Seite 87) betrachtet. Muster können durch den Helligkeitswert und die Größe der das Muster bestimmenden Flecken variiert werden.

Variationen der **Farbe** setzen sich aus der Variation des Farbtons, der Sättigung und des Helligkeitswertes zusammen. Hierdurch bedingt haben die Farben maximaler Sättigung unterschiedliche Helligkeitswerte, andersherum haben die Farben gleichen Helligkeitswertes verschiedene Sättigungen. Die Farbe wirkt assoziativ und ist eine sehr gute selektive Variable in der Wahrnehmung. Bertin (1974) definiert die Variation der Farbe als Änderung des Farbtons bei konstantem Helligkeitswert (Hake et al., 2002) fügt dem noch die Farbsättigung als Variationsmöglichkeit hinzu.

Variationen der **Richtung** wirken bei punktförmigen Objekten, insbesondere wenn das Zeichen von länglicher Form ist, selektiv und assoziativ. Bei linienhaften Objekten muss man sich nach Bertin auf zwei Richtungen beschränken, die Richtung entlang des Objektes und die zur Objekttrichtung orthogonale Richtung. Die selektive Wahrnehmung ist noch vorhanden aber eingeschränkt. Bei der Variation dieser Variablen sollte man sich auf vier Richtungen beschränken und Winkel 30° und 60° anstatt 45° wählen.

Variationen der **Form** sind beliebig, da die Anzahl der verwendbaren Formen beliebig ist, was schnell zu einer missbräulichen Nutzung der Variablen Form führen kann. Als einzige der von Bertin aufgeführten Variablen wirkt die Variation der Form nur assoziativ.

Wie schon weiter oben erwähnt hat Bertin mit den 1967 eingeführten graphischen/vi-suellen Variablen erstmals systematisch zusammengestellt, wie durch Veränderung dieser Parameter für die geometrischen Primitive eine (Karten-) Graphik selbst und die Wahrnehmung dieser (Karten-) Graphik beeinflusst werden kann.

Die Anforderungen an Karten haben sich durch die Entwicklungen in der Informationstechnologie (digital/analog) ebenso geändert wie die Systeme auf denen eine Karte dargestellt wird (Papier vs. Bildschirm). Um diesem Wandel Rechnung zu tragen, wurden ausgehend von der Arbeit Bertin's in verschiedenen wissenschaftlichen Beiträgen die graphischen Variablen Bertin's ergänzt. MacEachren (1995) erwähnt die weiteren graphischen Variablen Schärfe, Transparenz, Auflösung und Sättigung (Abbildung 2-7). Schärfe, Transparenz und Auflösung definieren nach MacEachren eine komplexe Variable Klarheit. Als nicht eigenständige Variable ist die Sättigung bei Bertin schon erwähnt. Durch ihre Einführung wird die Farbe mit den Bertin'schen Variablen Farbton und Helligkeitswert in einem dreidimensionalen Farbraum beschreibbar. Vor dem Hintergrund des Aufkommens von Computergrafikprogrammen zur Kartenherstellung, die ebenso eine Farbbeschreibung durch Farbton, Helligkeitswert und Sättigung unterstützen, ist dieser Schritt nachvollziehbar und erleichtert das Kartendesign.

DiBiase et al. (1992) benennen Variablen mit denen die Veränderung von Objekten über die Zeit in graphischen Darstellungen beschrieben werden kann. Hierzu gehören die Veränderungsdauer, die Veränderungsrate und die Veränderungsreihenfolge. MacEachren (1995) ergänzt hierzu den Zeitpunkt an dem die Veränderung beginnt, sowie die Veränderungsfrequenz. Die Synchronität zählt MacEachren noch mit zu den, die Veränderung von Objekten beschreibenden Variablen. Mit der Synchronität wird zum Ausdruck gebracht,

ob verschiedene Objekte gleiche oder verschiedene Startzeitpunkte für die Veränderung aufweisen.

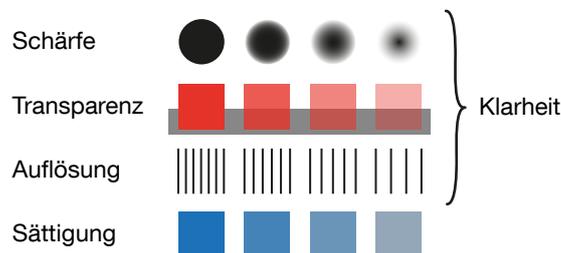


Abbildung 2-7: Die von MacEachren (1995) zusammengetragenen erweiterten Variablen

Buziek (2001) greift die von MacEachren (1995) zusammengetragenen Variablen auf und führt sie auf die Variablen Bertin's zurück. So wird schon bei Bertin (1974) die Transparenz als Eigenschaft von Mustern erwähnt. Die Auflösung lässt sich auf die Variablen Fläche und Füllung zurückführen und die Schärfe kann als linienhafte Signatur mit variierendem Tonwert angesehen werden. Die Variablen der Veränderung (Dibiase et al., 1992) dienen nicht nur der Darstellung von Bewegung sondern können auch als Mittel der Aufmerksamkeitssteuerung eingesetzt werden.

Den bewussten Einsatz graphischer Variablen zur Aufmerksamkeitssteuerung (Attention Guiding) greift Swienty (2008) auf und entwickelt daraus eine Design-Methodologie, die darauf abzielt, geographische Informationen mit Hilfe graphischer Variablen in einer Form darzustellen, die es dem Nutzer direkt ermöglicht, die für ihn relevanten Informationen zu erfassen. Swienty bringt die graphischen Variablen mit Hirnarealen in Verbindung, die für die Prozessierung bestimmter visueller Informationen zuständig sind (Swienty et al., 2007). Dies eröffnet die Möglichkeit, das Kartendesign zum einen thematisch am Nutzer zu orientieren und zweitens die relevanten Informationen so darzustellen, dass sie durch den Nutzer wahrgenommen werden „müssen“. Zur Relevanz von räumlichen Informationen und ihrer Darstellung sei auf Reichenbacher (2004), Reichenbacher (2007) und Swienty et al. (2008b) verwiesen.

Erkenntnisse aus der Computergraphik zum Einsatz graphischer Variablen

Zur Wirkung einzelner graphischer Variablen, insbesondere im computergraphischen Umfeld, finden sich in der Literatur Hinweise, die auch für die Stadtmodellvisualisierung von Bedeutung sind. So gehen Bartz et al. (2008) der Frage nach, welche graphischen Variablen einen besonderen Eindruck beim Nutzer hinterlassen. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Farbe das größte Potential zur Hervorhebung von Objekten bietet, wenn sie vernünftig gewählt ist. Die Richtung (Orientierung) eignet sich im Gegensatz nicht besonders gut als Differenzierungsmerkmal, wenn der Winkel der Orientierung zu klein gewählt wird (Healey et al., 1996). Farbe und Orientierung können sich somit gegenseitig bei der Visualisierung von Ikons stören, abhängig welches Merkmal als Hauptkriterium zur Unterscheidung gewählt wurde. Aus diesem Grund sollte die Farbe als Hauptkriterium zur Unterscheidung relevanter von nicht relevanter Information eingesetzt werden.

Generierte Texturen (perceptual textures) zur Visualisierung multidimensionaler Datensätze geben nur bedingt gute Hinweise über relevante Informationen. Die Farbe eignet sich auch hier besser, da Farbe und generierte Texturen gegenseitig störend aufeinander wirken können (Healey und Enns, 1998).

Bei der Nutzung von Ikonen zur Visualisierung relevanter Informationen eignen sich die Variablen Helligkeit, Größe und Auflösung (Spacing), wobei zu beachten ist, dass die Variable Helligkeit den Variablen Größe und Auflösung überlegen ist. Die Variable Auflösung wiederum besser geeignet ist als die Größe (Acevedo und Laidlaw, 2006, Acevedo et al., 2007).

2.3.3 Kartengestaltung

In den beiden vorherigen Abschnitten sind die geometrischen Primitive (Abschnitt 2.3.1), und die graphischen Variablen (Abschnitt 2.3.2) vorgestellt worden. In diesem Abschnitt soll die Kartengestaltung im Vordergrund stehen bzw. die Fragestellung wie die graphischen Variablen effektiv in der Kartengestaltung eingesetzt werden können. Die Hinweise zur Kartengestaltung beziehen sich bisher ausschließlich auf die Gestaltung zweidimensionaler Karten. Welche Vor- und Nachteile die dritte Dimension in der Gestaltung mit sich bringt finden sich weiter Abschnitt 2.4.

Zu kartografischen Gestaltungsgrundsätzen schreibt Häberling:

„Unter „kartografischen Gestaltungsgrundsätzen“ wollen wir Empfehlungen, Regeln oder Leitlinien verstehen, die angewendet werden sollen, um Objekte kartografischer Darstellungen in ihrer grafischen Erscheinung ins Kartenbild umzusetzen. Sie geben Anweisungen, wie die grafischen Gestaltungsmittel einzusetzen und wie die Gestaltungsvariablen beim Entwurf der Legende und bei der Gestaltung der Kartengrafik anzuwenden sind.“ (Häberling (2003) Seite 26).

Räumliche Informationen werden durch den Einsatz der verschiedenen graphischen Variablen gestaltet und bedingen in ihrer Gesamtheit das Erscheinungsbild der Karte. Abhängig von der Bedeutung der darzustellenden Informationen gibt es weitere Bedingungen, die bei der Codierung der Informationen in eine Karte berücksichtigt werden müssen, dies schränkt somit den Gebrauch der Variablen ein. Wendet man die in der Literatur (Spiess, 1973, Hake et al., 2002, Slocum et al., 2005) zu findenden Hinweise für die Kartengestaltung an, erzeugt man in der Regel eine sinnvolle und gebrauchstaugliche Karte.

Die exemplarisch und sehr allgemeingehaltenen Rahmenbedingungen bei Hake et al. (2002) lauten:

- Die räumlichen Informationen sollten geometrisch richtig in Lage und Größe dargestellt sein (zwei Dimensionen der Ebene, vgl. Bertin 1974).
- Aus der den Zeichen innewohnenden Bedeutung und ihrer an den Darstellungsmaßstab angepassten Generalisierung ergeben sich Variationen für die graphischen Variablen (Hake et al., 2002):
 - Gleiches gleich, Ungleiches ungleich darstellen,
 - Wichtiges erhalten, Unwichtiges fortlassen,
 - Typisches betonen, Untypisches abschwächen.

- Die Lesbarkeit der Karte insbesondere ihrer Kartenzeichen sollte in allen Maßstabstufen gewährleistet sein. Hierzu müssen Mindestdimensionen (Abschnitt 2.5.1) für graphische Elemente eingehalten werden, die typische Gestalt der Zeichen muss erhalten bleiben
- In einer Karte darf die Gestaltung eines Zeichens nicht einzeln betrachtet werden, es muss vielmehr auf gegenseitige Beziehungen geachtet werden, was wiederum Einfluss auf die graphische Dichte, den Kontrast sowie die Differenzierung und Gewichtung hat.

Für die Kartengestaltung und auch für die Gestaltung dreidimensionaler Karten (Häberling, 2003) und als Erweiterung für das Design von virtuellen Stadtmodellen kommt der Figur-Grund-Unterscheidung (Slocum et al., 2005) und der visuellen Hierarchie (Slocum et al., 2005, Swienty, 2008) besondere Bedeutung zu.

Die Figur-Grund-Unterscheidung (siehe auch Abschnitt 4.2) basiert auf Methoden, Objekte gegenüber anderen Objekten hervorzuheben. Dies kann erreicht werden in dem z.B. Punkte und Linien dunkler als ihre Umgebung gestaltet werden. Bei flächenhaften Objekten wirken helle Objekte als Figur und dunkle als Hintergrund. Diese Differenzierung kann insbesondere durch eine Variation der graphischen Variablen Helligkeit und Sättigung erreicht werden (Abbildung 2-8).

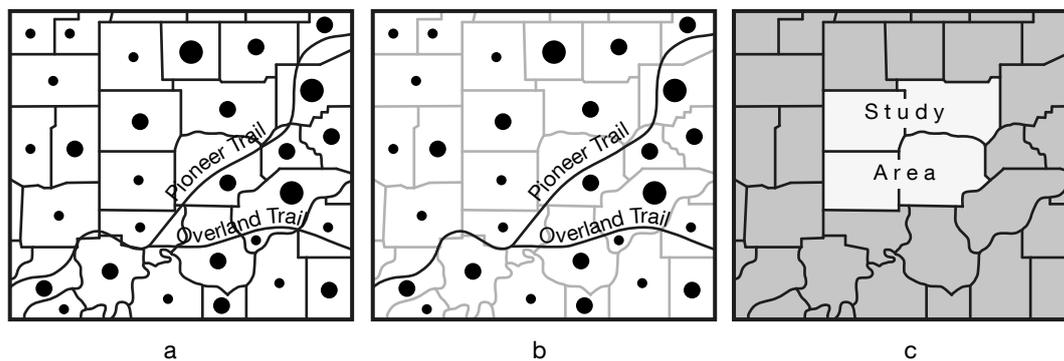


Abbildung 2-8: Beispiele für die Figur-Grund-Unterscheidung aus Slocum et al. (2005). a) keine Figur-Grund-Unterscheidung; b) Linien und Punkte sind dunkler gehalten, als der Rest, gute Figur-Grund-Unterscheidung; c) Die hellen Flächen wirken als Figur die dunklen als Grund.

Die visuelle Hierarchie beschreibt die Anordnung von Informationen innerhalb einer Karte basierend auf ihrer Relevanz. So sollten die ein Thema beschreibenden Elemente in der Karte visuell hervorgehoben werden und die die Verortung beschreibenden Elemente (Kontextinformation) visuell im Hintergrund stehen (Abbildung 2-9). Eine gute Figur-Grund-Unterscheidung stellt eine Möglichkeit dar, eine visuelle Hierarchie innerhalb einer Karte zu erzeugen. Eine visuelle Hierarchie ist insbesondere bei thematischen Karten und Darstellungen wichtig, um den Nutzer nicht mit unnötiger Information und Wahrnehmungsprozessen zu belasten.

Die Figur-Grund-Unterscheidung wie auch die visuelle Hierarchie haben schon anfänglich Anwendung in der Stadtmodellvisualisierung gefunden (Swienty et al., 2008a). Thematische Informationen wurden durch eine entsprechende Farbwahl hervorgehoben und

gleichzeitig ist die Sättigung der als Grund fungierenden Objekte herabgesetzt worden, sodass eine eindeutige Unterscheidung möglich ist.

Die graphischen Variablen und ihre Wirkung in der Kartengestaltung nehmen einen zentralen Platz in diesem Abschnitt ein. Deren Kenntnis ist von besonderer Bedeutung für die Übertragung ins Dreidimensionale. Insbesondere die Übertragung der Figur-Grund-Unterscheidung und der visuellen Hierarchie zur Anwendung im Dreidimensionalen definieren einen besonderen Aspekt bei der Gestaltung von Stadtmodelldarstellungen. Somit werden verschiedene Ansätze aus der klassischen Kartographie auch in der Visualisierung von Stadtmodellen zum Einsatz kommen

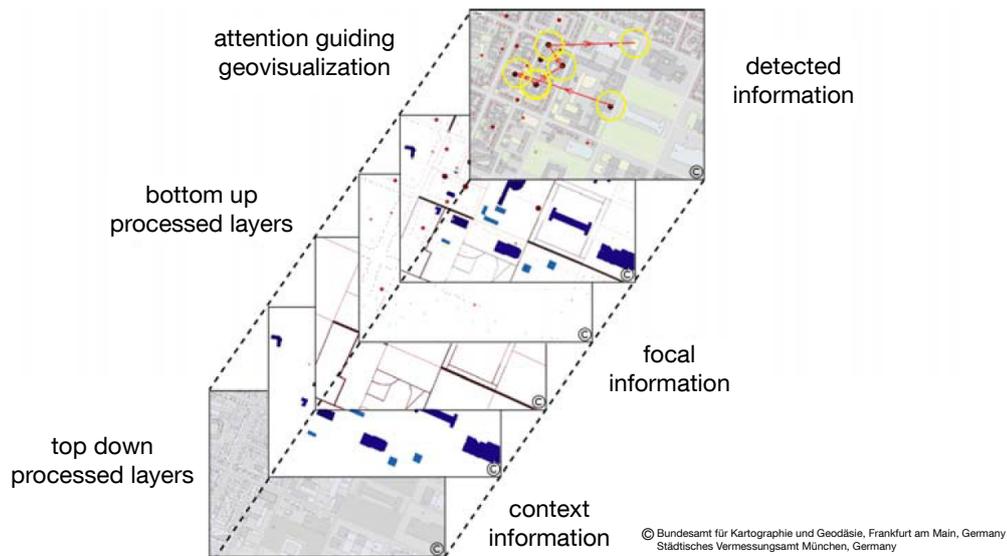


Abbildung 2-9: Visuelle Hierarchie aus Swienty (2008) Seite 64

2.4 Die Dritte Dimension in der Kartographie

Die vorherigen Abschnitte haben Einblicke in die kartographische Modellbildung (Abschnitt 2.2) und das kartographische Design (Abschnitt 2.3) gegeben sowie Unterschiede in der analogen und der digitalen Kartographie (Abschnitt 2.3.3) vermittelt. Der zentrale Aspekt bestand in der Darstellung räumlicher Informationen in einer Karte, was der Abbildung eines dreidimensionalen Raumes in die Ebene gleichkommt. Vereinzelt ist die dritte Dimension in der Darstellung (Abbildung) schon angeklungen. In diesem Abschnitt geht es darum die Besonderheiten die dreidimensionalen Objekten innewohnt aufzuzeigen und ihre Einflüsse auf das kartographische Design anzusprechen. Die Forschungsfragen aus Abschnitt 1.3 stehen überwiegend in direktem Kontext zur dreidimensionalen Darstellung, sodass die dritte Dimension bei der Beantwortung eben dieser Fragen ein zentrale Rolle einnimmt.

Real weltliche Objekte haben neben ihrer Ausdehnung in der Ebene (zweidimensional, x-, y-Richtung) noch eine Höhe über einer definierten Bezugsfläche. In der traditionellen Kartographie wird diese Höhe in der Regel außen vorgelassen. Sie findet sich lediglich in

Form von Höhenlinien oder als Angabe zu einzelnen besonderen Punkten in den gängigen kartographischen Produkten wieder. Die dritte Dimension wurde in der Kartographie bisher in Form kartenverwandter Darstellungen berücksichtigt.

Bollmann und Koch (2001) definieren die dreidimensionale Kartographie als „*jenes Gebiet der Kartographie, welches die klassischen dreidimensionalen körperlichen kartenverwandten Darstellungen, die pseudo-3D und die echt dreidimensionalen kartographischen Darstellungen umfasst*“ (Seite 169).

Häberling bezeichnet als dreidimensionale Karte „*eine kartografische Darstellung in perspektivischer Schrägansicht mit kartographischem Inhalt*“ (Häberling (2003) Seite 29).

Gleichzeitig postuliert er, dass es sich bei einer solchen Karte nicht um eine Karte im eigentlichen Sinne handeln kann, auch MacEachren (1995) merkt zu dreidimensionalen Darstellungen an, dass sie keinen einheitlichen Maßstab über die Darstellungsfläche aufweisen und Objekte durch andere Objekte verdeckt sein können, was die Analyse oder den Wissenserwerb erschweren. Sowohl Häberling als auch MacEachren sprechen die monokularen Tiefenhinweise (vgl. Abschnitt 4.2.2), Perspektive und Verdeckung an, die der Abbildung dreidimensionaler Objekte in die Ebene einen Eindruck räumlicher Tiefe verleihen.

Zum einen soll unter Zuhilfenahme der graphischen Variablen (Abschnitt 2.3.2) eine Karte erzeugt werden die ihren Zweck erfüllt und den Nutzer beim Wissenserwerb unterstützt bzw. seinen Aufgaben unterstützt, zum anderen soll eine dreidimensionale Tiefenwirkung entstehen, die dem Nutzer im besten Fall einen Mehrwert verschafft und ihn nicht in seiner Aufgabenerfüllung stört. Somit erhält man eine dreidimensionale topographische Karte „...*bei welcher der Karteninhalt demjenigen einer (klassischen) topografischen Karte entspricht...*“ (Häberling (2003) Seite 29).

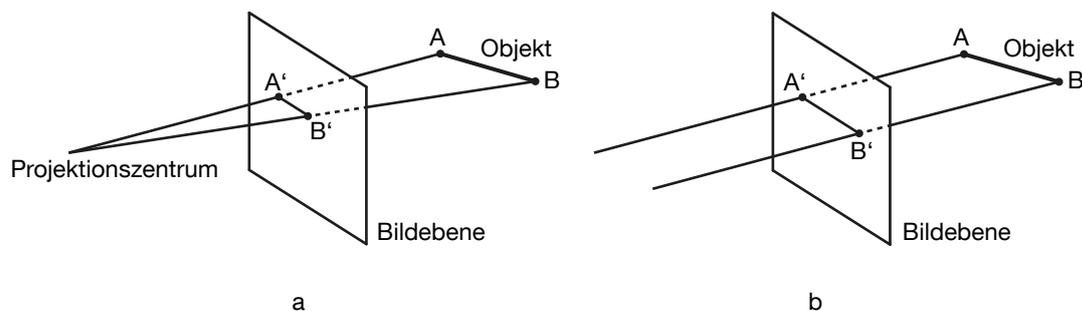


Abbildung 2-10: a) Zentralprojektion und b) Parallelprojektion aus Kumke (2011) Seite 44

Abgesehen von der Verankerung dreidimensionaler Darstellungen in der Kartographie, zeichnet eine solche Visualisierung eine perspektivische Darstellung von Objekten aus (Kumke, 2011), die dem Nutzer über entsprechende Tiefenhinweise (vgl. Abschnitt 4.2.2) einen dreidimensionalen Eindruck vermitteln. Handelt es sich um eine Photographie ist die Projektion durch die Art des gewählten Objektives vorgegeben. Betrachtet man virtuelle Objekte müssen diese in einem dreidimensionalen Koordinatensystem beschrieben (vgl. Abschnitt 3.6.1) und in einem weiteren Schritt durch mathematische Vorschriften auf eine

zweidimensionale Fläche projiziert werden (Apetri, 2008). Zur perspektivischen Darstellung haben sich verschiedene Projektionen etabliert wie die Zentralprojektion (Abbildung 2-10a) und die Parallelprojektionen (Abbildung 2-10b), die noch in weitere Klassen unterteilt werden können (Kumke, 2011).

Erhöht man zu dem die Interaktionsmöglichkeiten des Nutzers mit der Darstellung durch Hinzufügen von Funktionen wie vergrößern, verkleinern, verschieben und drehen erhält die Darstellung eine ganz neue Dynamik, die beim Design der Karte bzw. der kartenverwandten Darstellung zu berücksichtigen ist. Aus einer dreidimensionalen Karte wird in diesem Moment ein dreidimensionales Informationssystem in dem sich der Nutzer frei bewegen kann. Durch Nutzung der zusätzlich entstandenen Flächen, im Falle der dreidimensionalen Stadtmodelle, den Fassaden, lassen sich weitere über die Geometrie hinausgehende Informationen, entsprechend einer thematischen Karte kodieren (Middel et al., 2008, Kumke, 2011).

2.5 Digitale Kartographie

Die kartographische Theorie hat sich über mehrere Jahrzehnte hinweg stetig entwickelt. Die Gestaltungsgrundsätze und –prinzipien sind festverankert (Hake et al., 2002, Slocum et al., 2005). Die Arbeiten, die man heute leichthin unter der traditionellen Kartographie subsumiert basieren auf einer analogen bzw. einer haptischen, ausgedruckten Darstellung, einer Karte. Mit den Entwicklungen in der Informationstechnologie einhergegangen ist auch die digitale Speicherung von räumlichen Informationen, eines der wichtigen Differenzierungsmerkmale in der Kartographie (siehe Abschnitt 2.2.1). Das digitale Speichern räumlicher Informationen und insbesondere die Ausgabe auf Computerdisplays hat zu einem Umdenken in den Darstellungsprinzipien führen müssen, da die Gestaltungsregeln der traditionellen Kartographie sich nicht ohne weiteres auf eine digitale Ausgabe übertragen lassen. (Räber und Jenny, 2001, Brunner, 2001).

Die Kenntnis der Anforderungen, welche die digitale Kartographie, verglichen mit denen der traditionellen Kartographie mit sich bringt, ist für diese Arbeit von essentieller Bedeutung. Zum einen werden die dreidimensionalen Stadtmodelle auf Darstellungsflächen visualisiert, die digital arbeiten, zum anderen haben insbesondere für den mobilen Nutzungskontext die Darstellungsflächen eine kleine Größe. Somit bilden die beiden Punkte, die digitale Darstellung von Stadtmodellen und die kleine Darstellungsfläche, zentrale Aspekte zur Erweiterung des Methodenrahmens für nicht photorealistische Stadtmodelldarstellungen (vgl. Abschnitt 1.3).

2.5.1 Anforderungen an digitale kartographische Darstellungen

Allgemein müssen Webkarten hinsichtlich ihres Inhaltes und ihrer Grafik überzeugen und sollten Multimedia Elemente enthalten, um auf den Nutzer eine ansprechende Anziehungskraft auszuüben. Bei der Darstellung dreidimensionaler Stadtmodelle ist der Vergleich zu einer Webkarte vordergründig nicht direkt augenscheinlich, da es sich bei Stadtmodellen in erster Linie um eine perspektivische Darstellung mit variierendem Maßstab handelt. Den Stadtmodelldarstellungen, wie auch den Webkarten ist jedoch die Ausgabe auf ei-

nem Computerdisplay gemein, welche besondere Anforderungen an die Präsentation aufweist. Aus diesem Grund lassen sich diese Anforderungen auch für die Visualisierung von dreidimensionalen Stadtmodellen zu Eigen machen. Mit Multimedia lassen sich in diesem Sinne die durch die Entwicklungen in der Informationstechnologie möglichen Interaktionen zusammenfassen. Für die Anziehungskraft einer Webkarte müssen Grafik, Inhalt und Multimediaelemente stimmig und ausgewogen sein. Räber und Jenny (2001 Seite VIII.5) haben für die drei Größen Grafik, Inhalt und Multimediaelemente die folgenden Punkte zusammengetragen:

Die Karte muss

- ein *überzeugendes Kartenlayout* aufweisen,
- durch *klar differenzierte Signaturen* und *klare Signaturformen* den Nutzer unterstützen,
- *einfach lesbare Symbole* und *Schriften* besitzen,
- in *selbsterklärenden Farben* gehalten sein und
- eine angemessene *grafische Bilddichte* (Informationsdichte) aufweisen.

Der Inhalt der Kartengraphik muss

- aktuell und korrekt sein und
- ein vorhandenes Thema eindeutig identifizierbar machen.

Hinsichtlich der Multimediaausgestaltung sollten

- Interaktionen in Form von Zoomfunktionalität, Verschiebemöglichkeiten (Panning) des Kartenausschnittes, sowie die Abfrage von Objekten u.a. möglich sein,
- Animationen in die Kartengraphik integriert sein,
- Links leicht vom Nutzer erfassbar sein und
- ein schneller Bildaufbau und Download der Karte ermöglicht werden.

Die Wahl einer richtigen Farbe nimmt in digitalen Anzeigen eine besondere Stellung ein. Die Farbe unterstützt den Nutzer in der Wahrnehmung der Karte insbesondere bei einer assoziativen Farbgestaltung (vgl. Abschnitt 4.2.3) der Karte. Ein Nachteil der Farbgebung für verschiedene digitale Anzeigeegeräte ist die nicht konstante Farbdarstellung auf den unterschiedlichen Endgeräten, so werden Farben auf Computerdisplays immer abhängig von dem verwendeten Display und dem eingesetzten Farbmanagementsystem des Betriebssystems dargestellt (Jahnke et al., 2012, Räber und Jenny, 2001). Bei mobilen Systemen kommen noch Variationen des Umgebungslichtes und eine verminderte Aufmerksamkeit des Nutzers hinzu, die die Wahrnehmung negativ beeinflussen können.

Neben den oben beschriebenen allgemeinen Anforderungen wie eine optimale digitale Karte gestaltet sein sollte, spielen bei der Gestaltung eben solcher Darstellungen die physikalische Auflösung von Displays wie auch die Auflösung des menschlichen Auges eine entscheidende Rolle

Das Auflösungsvermögen des Auges von einer Bogenminute ($1/60^\circ$) ist der begrenzende Faktor inwiefern kleine Objekte noch wahrgenommen oder voneinander differenziert werden könne (siehe Abbildung 2-11). Bei einer Leseentfernung für eine Papierkarte von ca. 25 bis 30 cm bedeutet dies, dass zwei Linien mit einem Abstand von 0,07mm (Brunner, 2001) bis 0,09mm (Jenny et al., 2008) noch als zwei Linien erkennbar sind, was einer Auf-

lösung von $\approx 360\text{dpi}^8$ entsprechen würde. Der Abstand der Augen zum Computerdisplay liegt bei 50 bis 60cm, zwei Linien müssten hier 0,1 bis 0,2mm auseinander liegen, was einer Auflösung von ≈ 240 bis 120dpi entsprechen würde. (Brunner, 2001, Räber und Jenny, 2001, Becker, 2005).

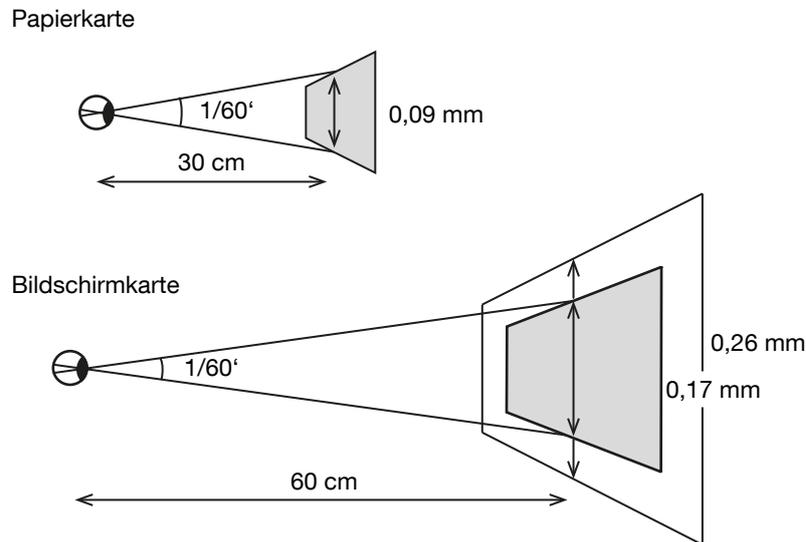


Abbildung 2-11: Oben: Auflösungsvermögen des menschlichen Auges bei einem Leseabstand von 30cm. Unten: Auflösungsvermögen des menschlichen Auges bei einem Leseabstand von 60cm (aus Jenny et al. 2008).

Basierend auf dem Auflösungsvermögen des menschlichen Auges haben sich für gedruckte Karten Mindestgrößen (Tabelle 2-2) für Kartenobjekte etabliert, die für eine optimale Wahrnehmung der Kartengraphik nicht unterschritten werden sollten.

Tabelle 2-2: Mindestgrößen für gedruckte Karten in schwarz-weiß Darstellung und Farbdarstellung aus Hake et al. (2002). Alle Angaben in Millimeter (mm)

	Punkt		Linie		Fläche	
	Punkt	Kreis	Einzelmaß	Zwischenraum	Einzelmaß	Zwischenraum
kontrastreich	0,25	0,5 – 0,6	0,05	0,15 – 0,25	0,3	0,15 – 0,2
Kontrastarm	0,45	0,7 – 1,0	0,08	0,2 – 0,3	0,4	0,20 – 0,25

Wie der Tabelle 2-2 zu entnehmen ist lassen sich Objekte, die diesen Vorgaben entsprechen durch das menschliche Auge eindeutig erkennen und differenzieren. In der obigen Tabelle werden zum einen die Werte für schwarz-weiß Darstellung (kontrastreich) angege-

⁸ dpi = „dots per inch“ steht für Punkte pro Zoll und ist eine Angabe für die Auflösung. LCD Bildschirme mit einer Pixelgröße von ca. 0,27mm haben somit eine Auflösung von ca. 70dpi, wenn ein Pixel einem Punkt entspräche. Heute spricht man daher im Zusammenhang mit Computerdisplays auch von „pixel per inch“ (ppi)

ben zum anderen finden sich dort ebenso die Mindestgrößen für eine Kartengraphik mit schlechterem Kontrast oder für Farbdarstellungen (kontrastarm).

Verglichen mit derzeit gängigen Auflösungen vom stationären Computerbildschirmen (Tabelle 2-3) bedeutet dies, dass die Mindestgrößen angehoben werden müssen, um eine Trennbarkeit von Objekten in der digitalen Karte gewährleisten zu können. Die Auflösung von Tablet-Computern und Smartphones erreicht Größenordnungen (siehe Abbildung 2-12 oder (Wikipedia, 2012)) die nahe der des menschlichen Auges liegen und für die daher die Mindestgrößen für gedruckte Karten gelten könnten. In dem Fall der mobilen Nutzung bedingen andere Faktoren, wie Umwelteinflüsse und die begrenzte Aufmerksamkeit des Nutzers (Swienty, 2008), dass die Mindestgrößen für gedruckte Karten auch für diese Geräte nicht angewendet werden sollten.

Tabelle 2-3: Auflösungen gebräuchlicher Bildschirme nach Wikipedia (2012)

Gerät	Computerbildschirm	Netbookdisplay	iPad 3 Generation	iPhone 4S
Pixel	1680 x 1050	1024 x 600	2048 x 1536	960 x 640
Auflösung	≈ 99ppi	≈ 118ppi	≈ 264ppi	≈ 326ppi

Für Computerbildschirme ergeben sich Vergrößerungsfaktoren für Kartenobjekte von 2 – 3, um die die Mindestgrößen anzuheben sind. Um den gleichen Faktor muss in diesem Fall die Informationsdichte (grafische Bilddichte) der digitalen Darstellung reduziert werden, um eine geeignete Kartengraphik zu erhalten (Räber und Jenny, 2001). Eigene Untersuchungen (Jahnke et al., 2012) haben diese Werte insbesondere für Computerdisplays bestätigt.

Hinzu kommt, dass linienhafte Objekte in der digitalen Darstellung insbesondere auf Displays mit einer geringen Auflösung eine starke Richtungsabhängigkeit aufweisen. Diese sogenannten „Aliasing Artefakte“ müssen durch geeignete Bildverbesserungen reduziert werden, was wiederum mehr Platz auf dem Display in Anspruch nimmt und zu den Vergrößerungsfaktoren beiträgt (Brunner, 2001, Neudeck, 2001).

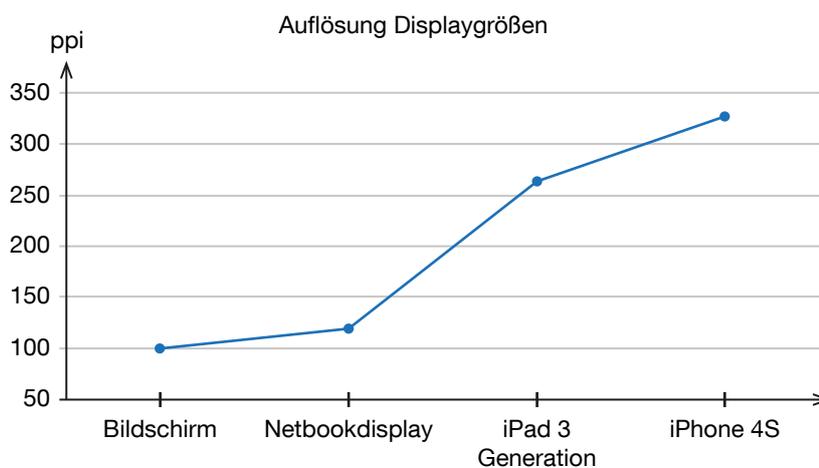


Abbildung 2-12: Auflösung von heute gängigen Computerdisplays zur Darstellung von Karteninformationen

Zusammenfassend lassen sich für digitale kartographische Darstellungen die folgenden Punkte festhalten die es beim Design zu beachten gilt:

- Für die gleiche Informationsdichte wird bei digitalen Darstellungen mehr Platz benötigt.
- Kartenobjekte müssen vom Nutzer „nicht gerade noch“ sondern eindeutig identifiziert werden können. Dies bedingt größere Signaturen und Kartenelemente.
- Identische Darstellungen der Farbe sind auf verschiedenen Displays schwer zu erreichen, dies bedingt eindeutig differenzierbare Farben.
- Der Begrenzende Faktor bei stationären Displays ist die physikalische Auflösung.
- Der Begrenzende Faktor bei mobilen Displays sind zum einen die Auflösung sowie instabile Umgebungslichtverhältnisse und die durch verschiedene Umwelteinflüsse reduzierte Aufmerksamkeit des Nutzers.
- Anpassung des Inhaltes an die verschiedenen Interaktionsmöglichkeiten, besonderes Augenmerk sei auf das Vergrößern und Verkleinern der Karte und den Standortwechsel gelegt.
- Eine digitale Darstellung ist in ihrer Größe durch die physikalischen Ausmaße des Darstellungsmediums begrenzt.
- Die „Flüchtigkeit“ der digitalen Darstellung gegenüber einer gedruckten Karte.

2.5.2 Grundlegende Eigenschaften und Besonderheiten mobiler Geräte

Die Stadtmodellvisualisierung birgt viele Herausforderungen. Die Identifizierung geeigneter Designvorschläge zur Nutzung der graphischen Variablen in der Stadtmodelldarstellung ist nur eine von vielen. Weit wichtiger wird der Einsatz eben dieser Variablen im Zusammenspiel mit den Erkenntnissen aus den Kognitionswissenschaften und dem graphischen Design, wenn die Darstellungsfläche auf die eines Smartphone Displays reduziert wird. Der Einsatz geeigneter Variablen muss sehr genau abgewogen werden. „überflüssige“ Informationen müssen aus dem Modell reduziert werden. Dies kann in dem Maß erfolgen, dass insbesondere dreidimensionale Fassadenobjekte in die Fassadenebene gedrückt werden, in einem zweiten Schritt kann über den Generalisierungsoperator „Typifizierung“ (Abschnitt 3.6.4.2) eine Reduzierung der Anzahl der Objekte erfolgen.

Die beschränkte Darstellungsfläche macht sich, wie Abbildung 2-12 zeigt, inzwischen nur noch rein physikalisch bemerkbar. Die Auflösung mobiler Gerätedisplays hat heute die Auflösung stationärer Computerbildschirme bei weitem übertroffen. Durch diesen Umstand können auch sehr kleine Details noch auf einem mobilen Display dargestellt werden, es darf aber bezweifelt werden, dass diese in einem mobilen Nutzungskontext erkannt und identifiziert werden können. Mindestdimensionen spielen somit in stationären wie auch in mobilen, digitalen Informationspräsentationen eine gewichtige Rolle und dürfen nicht vernachlässigt werden.

Heutige Smartphone Displays haben weitgehend rechteckige Darstellungsflächen. Diesem Umstand muss ebenfalls Rechnung getragen werden, da Smartphones bedingt durch ihre technologische Entwicklung sowohl im Hochformat als auch im Querformat genutzt werden können, während das Querformat für stationäre Displays nahezu obligatorisch ist. Für die Darstellung von Stadtmodellen bietet sich das Querformat, im Englischen auch als

„Landscape-Format“ bezeichnet, an. Der Wahrnehmungsbereich des menschlichen Auges ist, ebenso mehr in die Breite als in die Höhe ausgeprägt (Abschnitt 2.5.3).

Somit sind für die Darstellung von Stadtmodellen auf mobilen Geräten

- die kleine Darstellungsfläche,
- die Informationsdichte,
- die Bandbreite der Netzwerkanbindung und
- die Rechenleistung

von besonderer Bedeutung. Die kleine Darstellungsfläche ist der limitierende Faktor für Darstellungen, die Informationsdichte steht in direkter Abhängigkeit zur kleinen Darstellungsfläche.

In Abschnitt 3.6.4 wird auf das Verhältnis von Abstraktion und Informationsdichte im Zusammenhang mit Stadtmodell Darstellungen auf mobilen Geräten eingegangen.

2.5.3 Herausforderungen digitaler Kartographie auf kleinen/mobilen Displays

Aus den vorherigen Abschnitten ergibt sich, dass für die Darstellung georäumlicher Informationen, für den Anwendungsfall in dieser Arbeit seien sie dreidimensional, auf kleinen mobilen Geräten die Konzepte und Prinzipien der Kartographie in drei Bereichen angepasst und erweitert werden müssen. Hierzu gehören die Bereiche

- analoge und digitale,
- großformatige und kleinformatische und
- zweidimensionale und dreidimensionale

Darstellungen. Die einzelnen Punkte sollen im Folgenden näher erläutert werden.

Analog vs. digital: Die Darstellung georäumlicher Informationen in einer analogen Karte unterliegt anerkannten Prinzipien und Gesetzmäßigkeiten. Mit den Entwicklungen in der Informationstechnologie hat auch die Kartographie ihre Produkte und Darstellungen digital verfügbar gemacht. Die Mindestgrößen und die Informationsdichte mussten an die veränderten Auflösungsgegebenheiten von Computerdisplays angepasst werden. Dies wird insbesondere bei gescannten analogen Karten deutlich, deren Darstellung nicht zu optimalen Ergebnissen führte, da Strichstärken und Abstände zwischen Objekten nicht an die Bildschirmauflösungen angepasst wurden. Farbdifferenzen zwischen analoger und digitaler Darstellung sind in erster Linie vom verwendeten Betriebssystem, den Lichtbedingungen der Umgebung und bei digitalen Darstellungen auch vom Blickwinkel des Betrachters abhängig. Weitere Unterschiede zwischen analoger und digitaler Kartographie finden sich in Abschnitt 2.4. Zusammenfassend lässt sich für diesen Bereich festhalten, dass **Mindestgrößen, Farbkonzepte** und die **Informationsdichte** für den Übergang angepasst werden müssen und als Herausforderungen der digitalen Kartographie zu betrachten sind. Das führt zu völlig neuen Konzepten und Anwendung der graphischen Variablen (Abschnitt 2.3.2) und der Generalisierung (Abschnitt 3.6.4).

Großformatig vs. kleinformatic: Zu den oben genannten Herausforderungen der digitalen Kartographie kommen noch weitere hinzu, wenn die Größe des Mediums auf dem die Karte dargestellt wird variiert. Eine analoge Karte kann in fast beliebiger Größe hergestellt werden, sodass, wenn gewollt, die Karte im Ganzen betrachtet werden kann. Ein Desktopdisplay kann immer nur einen Ausschnitt der Karte oder einen Teil der Datenbank darstel-

len. Dafür scheint die digitale Karte nicht begrenzt zu sein, durch Verschiebeoperationen (Panning) kann der Kartenausschnitt frei gewählt werden, sodass nur dann keine Karte mehr dargestellt wird, wenn keine Informationen mehr verfügbar sind. Wird in die Karte hinein oder heraus gezoomt, was einer Maßstabsänderung gleichkommt, kann die Karte auch auf dem Desktopdisplay in Gänze betrachtet werden. Unter Umständen muss bei der Maßstabsänderung die Informationsdichte angepasst werden, um ein akzeptables und die dargestellten Informationen transportierendes Kartenbild zu erhalten. Die Nutzung kleiner Displays geht mit einem mobilen Nutzungskontext einher. Die Darstellungen werden „Unterwegs“ verwendet, der Nutzer hält sich an einem bestimmten Ort auf und möchte Informationen über diesen Ort oder wie er von diesem zu einem anderen Ort gelangt. Somit sind Karten in der mobilen Nutzung den egozentrischen Karten (Abschnitt 2.6) zuzuordnen. Insbesondere bei der mobilen Nutzung ist der Nutzer ablenkenden Umwelteinflüssen ausgesetzt, die in das Blickfeld des Nutzers kommen können (Reichenbacher und Swienty, 2006). Je kleiner das Display ist desto größer wird der Platz, der für störende Elemente im Blickfeld (Field of View) zur Verfügung steht (Abbildung 2-13). Deckt die Darstellung das gesamte Blickfeld ab (Abbildung 2-13a), ist die Möglichkeit einer visuellen Störung minimiert, da sie vom Benutzer unter Umständen nicht wahrgenommen wird. Verringert sich die Größe des Darstellungsmediums wie in Abbildung 2-13b und Abbildung 2-13c ist die Chance einer ablenkenden Störung deutlich größer. Bei der Darstellung auf kleinformati- gen Displays muss es zu einer weiteren Anpassung der Mindestgrößen, der Farbkonzepte und der Informationsdichte kommen. Zusätzlich müssen noch der **Nutzungskontext** des Nutzers und die **Relevanz** einzelner Objekte für den Nutzer berücksichtigt werden. Bei der Darstellung auf kleinen Displays muss der Informationsdichte ein besonderes Gewicht zugewiesen werden, sie muss durch geeignete Mittel (Generalisierungsoperationen vgl. Abschnitt 3.6.4) auf ein Mindestmaß reduziert werden, um dem Nutzer eine brauchbare Karte darzubieten.

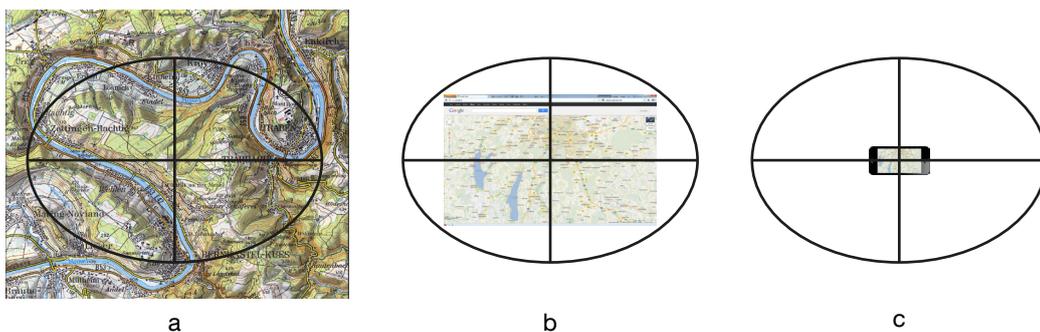


Abbildung 2-13: Das Blickfeld (Field of View) im Verhältnis zu verschiedenen großen kartographischen Darstellungen bei einem Abstand von 40 cm. a) zeigt das Verhältnis zu einer Papierkarte, b) zu einer Bildschirmkarte und c) zu einer Karte auf einem mobilen Gerät mit kleinem Bildschirm (nach Swienty (2009))

Zweidimensional vs. dreidimensional: Die dritte Dimension (Abschnitt 2.4) spielt in der kartographischen Visualisierung eine immer größer werdende Rolle. In den beiden vorherigen Absätzen sind die Herausforderungen, welche die Darstellung von Informationen auf

digitalen und kleinen Displays mit sich bringen genannt worden. Die Darstellung dreidimensionaler Objekte nach kartographischen Grundsätzen birgt weitere Besonderheiten, die beim Design zu berücksichtigen sind. Heraus zu stellen sind an dieser Stelle die **Tiefenhinweise** (Abschnitt 4.2.2), mit deren Hilfe es möglich ist, eine Darstellung auf einer Ebene dreidimensional erscheinen zu lassen. Zu den Merkmalen, die Tiefeninformationen transportieren können siehe Abschnitt 4.2.2.

Von den genannten Herausforderungen, die für die Darstellung auf kleinen mobilen Geräten gelten, sollen in Kapitel 6 (Kartographischer Gestaltungsrahmen für Stadtmodell Darstellungen) die graphischen Variablen identifiziert werden, die das Potential besitzen, semantische Informationen innerhalb einer Stadtmodellvisualisierung zu transportieren. Als weitere Herausforderung sollen Strategien zur Definition einer an den Nutzer und den Zweck angepassten Informationsdichte vorgestellt werden. In Kapitel 7 (Prototypische Umsetzung nutzerorientierter Stadtmodell Darstellungen) finden sich beispielhafte Stadtmodellvisualisierungen, die den Nutzer und Zweck zu gleichen Teilen berücksichtigen.

2.6 Mobile Kartographie

Mobile Kartographie ist ein schwer zu fassender Begriff. Er wirft die Frage auf, was an Kartographie mobil ist bzw. andersherum gefragt wann ist Kartographie stationär? An die Antwort auf diese Frage soll in diesem Abschnitt herangeführt werden.

Der Unterschied zwischen „mobiler“ und „stationärer“ Kartographie liegt nicht alleine in dem Darstellungsmedium (Papier oder Computerdisplay) begründet sondern reicht deutlich weiter. Eine gedruckte Karte ist bei weitem nicht stationär sondern äußerst mobil, sie kann überall mithingenommen werden. Ein Merkmal, welches sie nicht aufweist ist die Veränderbarkeit. Eine gedruckte Karte ist nicht mehr veränderbar, es lassen sich keine Informationen hinzufügen oder entfernen (Reichenbacher, 2004). Geht man von der Veränderbarkeit einer Darstellung aus muss der Zeitpunkt, wann Veränderungen eingefügt werden und von wem, betrachtet werden. Eine Darstellung kann vor oder während des Gebrauches verändert/angepasst werden und dies kann sowohl vom Autor wie auch von dem Nutzer vorgenommen werden. Für gedruckte Karten gilt in diesem Fall, dass Änderung nur vor dem Gebrauch (eigentlich vor der Drucklegung) und ausschließlich durch den Kartenautor vorgenommen werden können.

Digitale Darstellungen lassen sich, abhängig von einem zugrunde liegenden System, noch während der Darstellung beeinflussen, weiter können die Darstellungen nicht nur durch den Autor sondern auch durch einen Nutzer verändert und an seine Bedürfnisse angepasst werden. Web Map Services (OGC, 2006) erlauben es die Darstellungen durch den Nutzer zu beeinflussen (Steinrücken, 2009, Steinrücken und Plümer, 2009). Dies bedeutet eine „Mobilität“ in der Kartenerstellung, die man vor der digitalen Kartographie nicht gekannt hat. Ein weiterer Aspekt der mobilen Kartographie ist nach Reichenbacher (2004), das direkt auf die Bedürfnisse des Nutzers, durch ein System reagiert werden kann, so dass insbesondere für mobile Geräte geltend, die Informationen orts- und zeitabhängig ausgeliefert bzw. dargestellt werden können, was aber einer ortsunabhängigen Nutzung nicht entgegensteht.

Unter der mobilen Kartographie sind hoch adaptive Karten bzw. Darstellungen, die jederzeit beeinflusst werden können, sowie eine orts- und zeitabhängige Auslieferung der

Informationen, zu verstehen. Einem der mobilen Kartographie zuzuordnenden Szenario muss eine Service Infrastruktur zur Verfügung stehen, hierzu gehören Dienste wie z.B. ein Web Map Service (WMS) oder auch ein Web Feature Service (OGC, 2005) oder ein Web Processing Service (OGC, 2007). Eine orts- und zeitabhängige Auslieferung der Daten ist nur möglich wenn eine Netzwerkverbindung besteht, die entsprechend ausgerüstete Endgeräte voraussetzt (Jahnke et al., 2009b).

Verglichen mit den Unterschieden zwischen einer egozentrischen und einer geozentrischen Darstellung (vgl. Abschnitt 2.2.3) weist die mobile Kartographie hoch egozentrische Züge auf. Die dargestellten Informationen beziehen sich in diesem Fall auf den Ort des Nutzers und müssen an seinen Bedürfnissen orientiert präsentiert werden (Meng, 2004b) und sind in der Regel für einen kurzfristigen „ad-hoc“ Gebrauch konzipiert. Ein Merkmal der digitalen Kartographie (vgl. Abschnitt 2.2.3 und 2.5) ist die „Flüchtigkeit“ der Darstellung, die ebenso als ein Merkmal der mobilen Kartographie gilt, da man sie als eine Ausgestaltung der digitalen Kartographie betrachten kann.

Neben den Herausforderungen beim Übergang von der analogen zur digitalen Kartographie weist die mobile Kartographie weitere Anforderungen an das kartographische Design auf, die sich insbesondere durch eine kleine Darstellungsflächen für Informationen beschreiben lassen. Somit kann oftmals nur ein kleiner Ausschnitt des Inhaltes einer entsprechenden Papierkarte auf dem Display dargestellt werden, wenn eine grundlegende Lesbarkeit garantiert und der Wissenserwerb gewährleistet werden soll. Hierzu erwähnen Chinchor et al. (2005), das eine der größten Herausforderungen darin besteht, das die Darstellungsprinzipien „...*must address information complexity, enable knowledge discovery through information synthesis, and facilitate analytical reasoning*“ (Chinchor et al. 2005, Seite 98). Insbesondere die Komplexität der dargestellten Informationen muss für die kleinen, zur Verfügung stehenden Darstellungsflächen angepasst werden aber auch der Wissenserwerb und das Ziehen der richtigen Schlüsse muss durch die Karte unterstützt werden. In der traditionellen Kartographie gilt für die Anzahl der zu platzierenden Signaturen innerhalb einer Fläche das Auswahl- bzw. Wurzelgesetz nach Töpfer (Ogrissek, 1983), welches Hinweise auch für die digitale bzw. mobile Kartographie liefern und Einfluss auf die Informationskomplexität bzw. Informationsdichte nehmen kann.

Die Komplexität der Darstellung steigt mit der Einführung der dritten Dimension. Die dargestellten Informationen erscheinen nicht mehr nur flach sondern erhalten eine Höhe, sodass sich für deren Betrachtung nicht mehr nur die Vogelperspektive anbietet, sondern die Daten insbesondere auch für den Wissenserwerb aus beliebigen Richtungen in Augenschein genommen werden können und müssen.

3. Nicht-Photorealismus und Stadtmodelle

3.1 Vom Photorealismus zum Nicht-Photorealismus

Um sich der Frage zu nähern, was unter Nicht-Photorealismus zu verstehen ist sollte zuerst der Blick in die Richtung des Photorealismus gewandt werden. Die Frage was als realistisch anzusehen ist hängt von dem Entstehungszeitpunkt einer Darstellung ab. In alten ägyptischen Zeichnungen/Malereien sind Personen in einer Körperhaltung dargestellt, wie sie im Realen nur schwerlich einzunehmen sind. Zum Zeitpunkt der Entstehung solcher Zeichnungen hat sich niemand an einem solchen Umstand gestört (Strothotte und Schlechtweg, 2002). Die Stilrichtung des „Realismus“ in der Malerei, entwickelte sich erst Mitte des 19. Jahrhunderts. Dies lässt den Schluss zu, dass eine realistisch anmutende Zeichnung oder Malerei nicht zwangsläufig der Stilrichtung des Realismus (Kunst) zugeordnet werden kann. Zum Vergleich mit der Romantik die zeitlich eher anzusiedeln ist schreibt Pochat:

„Die Malerei der Romantik suchte die Welt und den lebendigen historischen Stoff packend und weiträumig zu gestalten, das Sichtbare, Wirkliche auf die höhere Ebene der Kunst und des Scheins zu erheben. Für den Realisten war der vorgegebene Wert eines Bildmotives ästhetisch indifferent. Auf die malerische Qualität alleine käme es an. So war er, ob als Autor oder Maler, mehr denn je auf die künstlerischen Mittel der Gestaltung selbst angewiesen.“ (Pochat (1986) Seite 555)

Während des Realismus sind die malerischen Fähigkeiten von entscheidender Bedeutung gewesen, um Bilder zu erstellen die dem entsprechen, was wir heute als realistisch betrachten. Der Realismus zeichnet sich durch die Abkehr von klassischen Posen in den Bildern aus. Die Darstellung des den Menschen umgebenden Milieus sowie das tägliche Leben in all seinen Facetten waren Elemente die den Realismus ausgezeichnet haben (Pochat, 1986). Die diesen Werken innewohnende Detailtiefe und Realitätstreue hat es bis dahin nicht gegeben, verglichen mit Photographien sind die Ähnlichkeiten heute noch verblüffend. So sind auch heute entstehende Abbildungen, die als realistisch angesehen werden können, nicht zwangsläufig der Kunstrichtung des Realismus zuzuordnen, sie beinhalten aber Stilelemente, die zu damaliger Zeit neu waren und diese Richtung entscheidend geprägt haben.

Mit „Realismus“ wird auch heute noch eine, *„die Wirklichkeit nachahmende, mit der Wirklichkeit übereinstimmende künstlerische Darstellung in Literatur und bildender Kunst“* (Duden, 2006) verbunden. Bilder die in ihrem Detailreichtum nahezu nicht von Photographien zu unterscheiden sind können heute auf computergraphischem Wege durch verschiedene Rendering Verfahren erzeugt werden (Bungartz et al., 2002). Der Computergraphik liegt ein digitales Modell zugrunde, welches sich aus den geometrischen Primitiven (Abschnitt 2.3.1) zusammensetzt und aus dem über verschiedenen Berechnungsverfahren ein der Wirklichkeit ähnelndes Bild erzeugt wird. Durch die mathematische Abbildung der dreidimensionalen Objekte in die Ebene, durch Hinzufügen von Textur oder Materialeigenschaften zu den Objekten werden Darstellungen erzeugt, die der einer Photographie ähneln, sodass man in diesem Fall vom Photorealismus sprechen kann.

Zum einen das künstlerisch von handgefertigte die Wirklichkeit replizierende Bild und zum anderen die vom computergenerierte graphische Darstellung sind zwei Ausdrucksformen des heutigen Photorealismus, die auf verschiedene Weisen generiert werden. Ausgehend von einem digitalen dreidimensionalen Stadtmodell sind für die nicht-photorealistische Darstellung computergenerierte Abbildungen von höherer Relevanz. Die Darstellung von Stadtmodellen strebt danach, die Wirklichkeit in einem automatisierten Prozess in einem bisher nicht gekanntem Detail- und Facettenreichtum abzubilden (Jahnke et al., 2009b). Der Detailreichtum einer solchen Darstellung korrespondiert mit der Auflösung des Darstellungsmediums. Je höher die Auflösung desto detailreicher könnten die Darstellungen sein, dies gilt insbesondere für die Auflösungen der verschiedenen Displays vom Computerbildschirm bis zum Smartphone neuester Generation (Abschnitt 2.3.3).

Insofern lässt sich mit dem Begriff „Photorealismus“ eine Abbildung oder Darstellung beschreiben, in der der Betrachter die realen Gegenstände so wahrnimmt wie er sie auch in der Realität wahrnehmen würde, die Darstellung ähnelt, wie weiter oben beschrieben der einer Photographie (Jahnke et al., 2011a). Für dreidimensionale Stadtmodelle wird z.B. die photorealistische Wirkung durch auf die Fassaden aufgebrauchte Texturen erzeugt, so dass letztendlich unterschiedliche Grade des Photorealismus entstehen können, die zum einen durch die Auflösung der Textur und zum anderen durch die hinterlegten geometrischen Modelle bestimmt wird. Abbildung 3-1 ist ein Beispiel für photorealistische Stadtmodell Visualisierungen mit verschiedenen aufgelösten Texturen und verschiedenen zugrundeliegenden geometrischen Modellen.

In der Abbildung 3-1a liegen der Visualisierung geometrische Modelle für die Gebäude und ein digitales Höhenmodell für das Gelände zugrunde, während es sich bei dem Modell in Abbildung 3-1b um ein digitales Oberflächenmodell handelt mit, wie aus der Abbildung ersichtlich höherer Auflösung der Texturen. Insbesondere durch die unterschiedlichen geometrischen Grundlagen wirkt die Abbildung 3-1b leicht deformiert.



Abbildung 3-1: Ausschnitte photorealistischer Stadtmodelle. a) Google Earth und b) Nokia Maps

Wie Abbildung 3-1 zu entnehmen ist können Stadtmodelle unterschiedliche Ausprägungen bezüglich ihres Realismus aufweisen. Was für die Auflösungen der Displays gilt, gilt auch für die Fassadentexturen, die Auflösung beeinflusst den Grad wie realistisch ein Stadtmodell wahrgenommen wird. Der Photorealismus lässt sich in einem Kontinuum verorten, welches von „nicht“ abstrakt bis abstrakt reicht (Jahnke et al., 2011b) und sich an dem „reality-virtuality“ Kontinuum von Milgram et al. (1994) orientiert.

Der Nicht-Photorealismus wendet sich von der zwingend realistischen Darstellung ab. Durch verschiedene Berechnungen in der Rendering-Pipeline (Abschnitt 3.6.1 und Abbildung 3-2), die zum einen durch direkte Berücksichtigung der Geometrie entstehen (Strothotte und Schlechtweg, 2002) oder durch eine Analyse und Anbringung diverser Kantenglättungs- und Filteroperationen wie in Kyprianidis und Döllner (2008) beschrieben (siehe auch Abschnitt 3.4) werden nicht-photorealistische Darstellungen erzeugt.

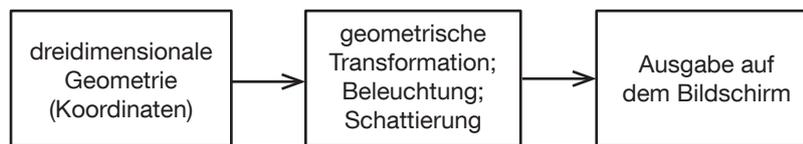


Abbildung 3-2: Schematische Darstellung der Graphik Pipeline.
Eine detailliertere Darstellung findet sich in Abschnitt 3.6.1.

Durch Beeinflussung der geometrischen Transformation, des Beleuchtungsmodells und durch Anpassung der Schattierungsberechnung auf der Graphikkarte entstehen automatisch nicht-photorealistische Visualisierungen.

3.2 Eigenschaften nicht-photorealistischer Darstellungen

In dem vorherigen Abschnitt wurde der Nicht-Photorealismus schon erwähnt bis hierher fehlt allerdings noch eine genauere Beschreibung, was sich der geneigte Leser unter diesem Terminus vorzustellen hat. Nicht-Photorealismus ist, wie schon weiter oben angedeutet eine Abstrahierung vom Realismus, die illustrative, expressive, cartoonartige und künstlerische Elemente besitzt. Eine nicht-photorealistisch anmutende Darstellung kann, durch das aus der Computergrafik bekannte, nicht-photorealistische Rendering (Non-Photorealistic Rendering) erzeugt werden. Der Nicht-Photorealismus zeichnet sich dadurch aus, dass ein zugrundeliegendes Modell und die aus dem Modell resultierende Abbildung getrennt voneinander zu betrachten sind. So ist es möglich aus dem gleichen Modell sowohl eine photorealistische wie auch eine nicht-photorealistische Abbildung zu erzeugen. Die Erzeugung dieser Abbildungen erfolgt heute mit Verfahren die dem Bereich der Computergraphik angehören.

Somit bezeichnet das nicht-photorealistische Rendering ein noch junges Teilgebiet der Computergraphik und stellt eine Vielzahl an illustrativen, expressiven, cartoonartigen und künstlerischen computergraphischen Techniken zur Verfügung (Strothotte und Schlechtweg, 2002). Abbildung 3-3 zeigt Beispiele, wie eine nicht-photorealistische Darstellung aussehen kann: die Liniendarstellung einer Veranda (Abbildung 3-3a), durch die hervorgehobenen Säulen eine Fokussierung auf dieselben (Abbildung 3-3b) und eine Nutzung der dreidimensionalen Informationen für Tiefenhinweise durch variierende Linienstärken (Abbildung 3-3c).

Die oben mit der Betonung auf verschiedene Aspekte fokussierte Darstellung einer Veranda zeigt nur ein kleines Feld dessen, was unter nicht-photorealistischen Darstellungen verstanden werden kann und zu finden ist. Begonnen hat die Entwicklung des nicht-photorealistischen Renderings mit der Anwendung für technische Illustrationen (Gooch et al.,

1998, Gooch und Gooch, 2001), mit denen Informationen den Nutzern dargeboten wurden, die das Ziel verfolgten gleiche Informationen an die Nutzer zu vermitteln, vor dem Hintergrund, dass die Nutzer die Informationen auf möglichst identische Weise interpretierten, um einen einheitlichen Wissensstand zu erzeugen (Gooch und Willemsen, 2002).

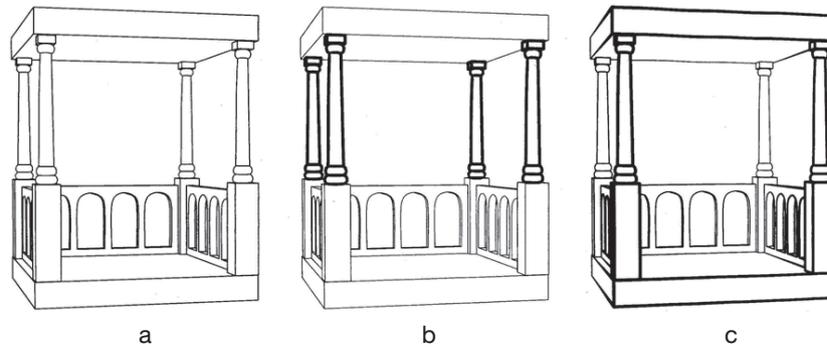


Abbildung 3-3: Nicht-photorealistisches Beispiele nach Strothotte und Schlechtweg (2002): a) Liniendarstellung; b) hervorgehobene Säulen; c) Nutzung der dreidimensionalen Informationen für Tiefenhinweise durch variieren-den Linienstärke

Zu Beginn der Entwicklungen stand die Adaption der Stile verschiedener Künstler für computergenerierte Darstellungen im Vordergrund, um einen nicht photorealistischen Eindruck zu erzielen (Gooch und Willemsen, 2002). Die Bedeutung der Psychologie, insbesondere die der visuellen Wahrnehmung ist im Laufe der Zeit für computergraphische Darstellungen immer mehr ins Bewusstsein gerückt und hat die rein technische Sichtweise durch eine nutzerbezogenen Sichtweise abgelöst (Halper et al., 2003a, Halper et al., 2003b, Bartz et al., 2008).



Abbildung 3-4: Verschiedene Grade des Nicht-Photorealismus, um die Aufmerksamkeit des Nutzers in die gewünschte Richtung zu lenken – der detaillierte Pfad wurde von den Nutzern in Navigationsszenarien gewählt. Aus Halper et al. 2003a Seite 282

Halper et al. (2003a) stellen heraus, dass die Menge an visueller Information in photorealistischen Umgebungen mit den Fehlern, die bei der Figur-Grund-Unterscheidung (Abschnitt 4.2) gemacht werden, korreliert. Aus diesem Grund lassen sich homogene und einfach strukturierte Objekte einfacher erfassen und identifizieren. Objekte mit einem klaren Figur-

Grund-Kontrast ermöglichen es dem Nutzer, sie schneller in komplexen Szenen zu erfassen und zu identifizieren (Abbildung 3-4). Ein Beleg dafür, dass sich nicht-photorealistische Darstellungen dafür eignen können die Informationsaufnahme und –wahrnehmung insbesondere auf kleinen Displays zu verbessern

Linienvariationen ermöglichen es, bestimmte Bereiche in einer Darstellung hervorzuheben, ihnen eine zusätzliche Tiefeninformation zu verleihen und einen potentiellen Nutzer auf den richtigen Weg zu leiten. Cole et al. (2006) setzen einen „stilisierten Fokus“ ein, um den Betrachter auf bestimmte Bereiche der Visualisierung aufmerksam zu machen. DeCarlo et al. (2003) unterstützen die Wahrnehmung von Objekten, in dem sie herausragende Konturlinien extrahieren und in die Darstellung integrieren. Verschiedene Linienarten zusammen mit anderen graphischen Variablen in der Kartographie haben das Potential, nicht-photorealistische Darstellungen für die kartographische Visualisierung dreidimensionaler virtueller Stadtmodelle nutzbar zu machen (Jahnke et al., 2009b).

Weitere Arbeiten, die sich des Nicht-Photorealismus annehmen, gehen nicht den oben beschriebenen Weg, den Blick oder die Aufmerksamkeit des Nutzers bewusst auf bestimmte Objekte zu lenken. Sie heben durch die Analyse der Augenbewegungen des Nutzers für ihn interessante Bereich hervor, mildern weniger interessante Bereiche ab (Santella und DeCarlo, 2002, Santella und DeCarlo, 2004a) und mindern somit die kognitive Kapazität, die zur Erfassung der Visualisierung nötig wäre (Bunch und Lloyd, 2006).

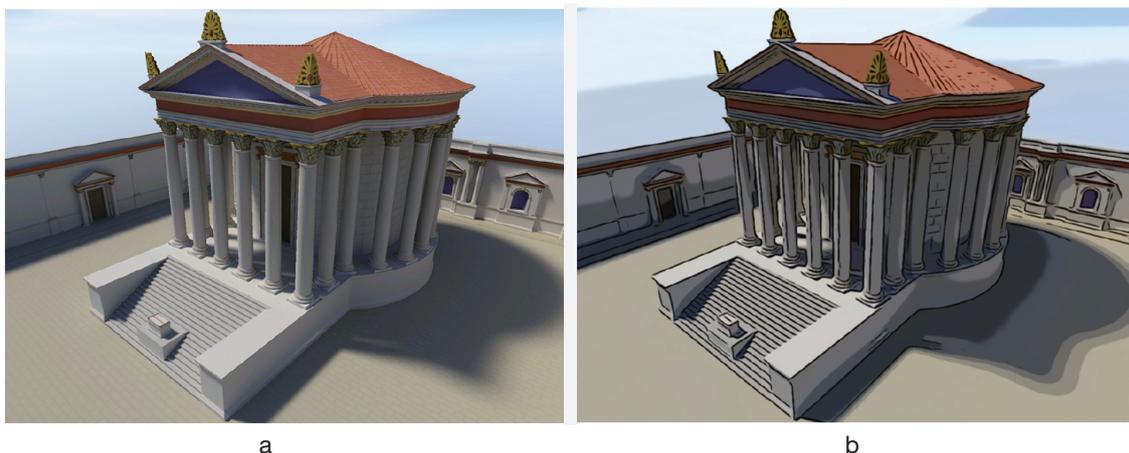


Abbildung 3-5: Vergleich einer photorealistischen Darstellung (a) mit einer nicht-photorealistischen Darstellung (b) aus Döllner und Kyprianidis (2009)

Den Übergang von einer statischen, nicht-photorealistischen Darstellung zu einem nicht-photorealistisch anmutenden Stadtmodell vollziehen Döllner und Walther (2003), sie wenden nicht-photorealistische Techniken auf dreidimensionale Stadtmodelle an und erzeugen somit eine virtuelle Umgebung (Abbildung 1-2), in der man sich frei bewegen kann. Eine der Herausforderung zur nicht-photorealistischen Darstellung stellt die echtzeitfähige Implementierung etablierter Algorithmen dar, so dass sie in einer Viewer-Software einsetzbar sind. Um den nicht photorealistischen Eindruck zu erhalten werden Kanten hervorhebung eingesetzt (Nienhaus und Döllner, 2003) und zusätzliche farb- und schattenbasierte Tiefenhinweise (Abschnitt 4.2.2) aus den dreidimensionalen Informationen hinzugefügt (Döllner et al., 2005, Buchholz et al., 2006). Zur Darstellung von Unsicherheiten lässt sich der Nicht-

Photorealismus ebenso einsetzen, da er durch seine abstrahierende Art die Möglichkeit eröffnet, Unsicherheiten, seien sie geometrischer oder semantischer Natur, visuell verfügbar zu machen vgl. Abbildung 3-5 (Döllner und Kyprianidis, 2009).

Der Nicht-Photorealismus ist somit eine Abstraktion vom Photorealismus, anstatt die Realität bzw. Umwelt möglichst exakt wiederzugeben werden bewusst Kanten betont, Geometrie vereinfacht und farbige Flächen vereinheitlicht. Im kartographischen Sinne kann man daher von einer Objekt- wie auch kartographischen Generalisierung sprechen (Abschnitt 3.6.4).

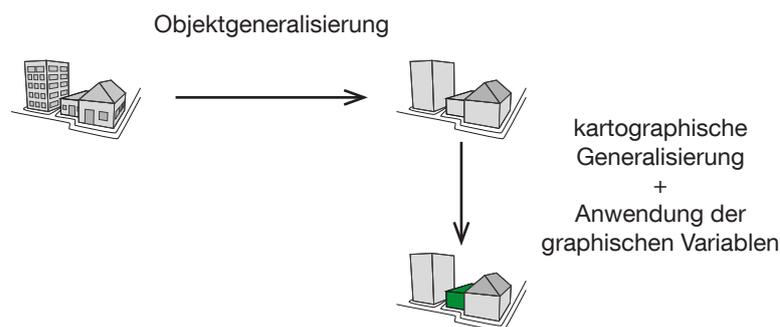


Abbildung 3-6: Die Generalisierung im Kontext nicht-photorealistischer Stadtmodell Darstellungen

Die Objektgeneralisierung stellt ein Bindeglied zwischen dem allumfänglichen Informationssystem und der Visualisierung dar und ist somit zuständig, damit aus „einem“ Datensatz, abhängig von dem gewählten Abstraktionsgrad unterschiedliche Detaillierungsgrade (Grade des Nicht-Photorealismus), was als ein Kontinuum verstanden werden kann, entstehen (Jahnke et al., 2011b). Die Objekte (Gebäude) des Stadtmodells werden generalisiert und in einem weiteren Schritt werden die elementaren Vorgänge der kartographischen Generalisierung wie die Auswahl hervorzuhebender Teile, die Vereinfachung der Geometrie und des Farbumfanges und die Bewertung (Betonung) angewandt (Hake et al. (2002), Abschnitt 3.6.4), um eine les- und brauchbare Darstellung zu erhalten. Der Vorgang der Bewertung kann insbesondere durch die gezielte Anwendung der graphischen Variablen (Abschnitt 2.3.2) auf die geometrischen Primitive (Abschnitt 2.3.1) unterstützt werden. Somit wird die nicht-photorealistische Darstellung von Stadtmodellen zum einen durch die Generalisierung und zum anderen durch die Anwendung der graphischen Variablen ermöglicht.

Abbildung 3-6 verdeutlicht nochmal das Zusammenwirken von Generalisierung und graphischen Variablen in der nicht-photorealistischen Stadtmodellvisualisierung.

Das Kontinuum der Abstraktion (Abbildung 3-7) erstreckt sich über eine ikonische Zeichensprache bis hin zum geschriebenen Wort (Elias und Paelke, 2008, Jahnke et al., 2009b) während der für die Stadtmodell Visualisierung brauchbare Ausschnitt der Abstraktion beim Ikon endet.

Ein ähnlicher Ansatz findet sich in der Linguistik, der eine Leiter der Abstraktion definiert. Diese beginnt mit einem aussagekräftigen Wort und endet auf einer Stufe, bei der es unmöglich erscheint ihr eine Aussagekraft zuzuordnen (Hayakawa, 1967). Dieser Ansatz lässt sich auch für dreidimensionale Stadtmodelle bzw. Gebäude hernehmen. Es lassen

sich Verbindungen zwischen den Ausdrücken der gesprochenen Sprache und einem Grad der Abstraktion von Stadtmodellen herstellen (Jahnke et al., 2011a). Die Tabelle 3-1 unterstreicht das Prinzip der Abstraktion zur Erreichung einer nicht-photorealistischen Abbildung.

Um dreidimensionalen Stadtmodellen ihre Wirkung zu verleihen, sei sie photo- oder nicht-photorealistisch werden auf die Fassaden heute Texturen aufgebracht. Dies liegt im Allgemeinen an der geringen Verfügbarkeit hochauflöster und detaillierter Stadtmodelle (vgl. Abschnitt 3.6).

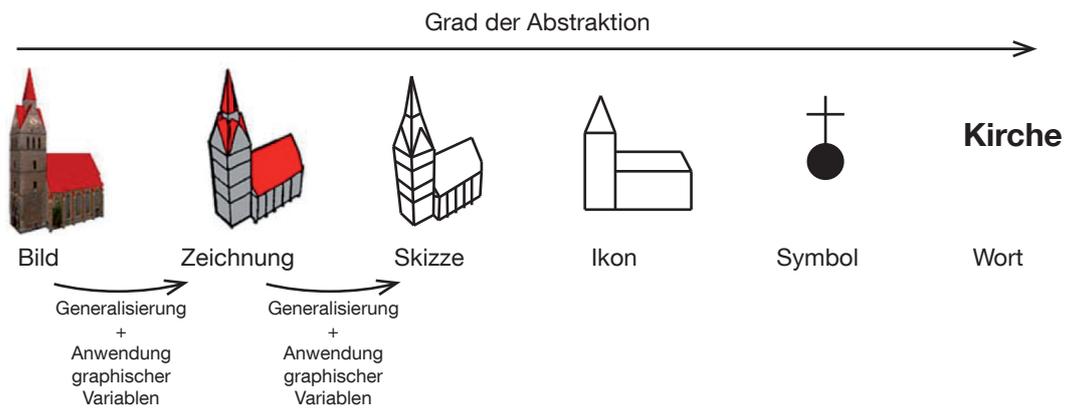
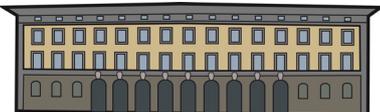
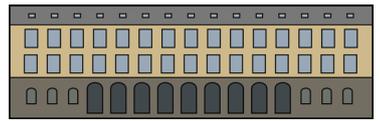


Abbildung 3-7: Der Grad der Abstraktion nach Elias und Paelke (2008) mit eigenen Ergänzungen

Tabelle 3-1: Vergleich der verschiedenen Grade der Abstraktion aus der Linguistik mit denen aus der Visualisierung nach Hayakawa 1967 (aus Jahnke et al. 2011a)

	Unterhaltung	Unterhaltung	Darstellung
Ebene 1	My sister Tracy	Bessie the cow	
Ebene 2	Spoiled child	Cattle	
Ebene 3	Most people	Farm assets	
Ebene 4	Society	Economy	

3.3 Kunst, Ästhetik und Nicht-Photorealismus

Der Kartographie auch als Kunst der Kartenerstellung oder Kartenherstellung bezeichnet wohnt schon seit Anbeginn eine künstlerische Komponente inne (Hake et al., 2002). Harmonie und Ausgewogenheit sind zwei Voraussetzungen, die ein Kartenbild erfüllen soll. Die Kunst ist in diesem Sinne als bildende Kunst mit ihren Unterteilungen in Malerei, Grafik, Bildhauerei und Architektur zu verstehen (Brockhaus, 2006), hierbei weist die Kartographie die meisten Anlehnungen an die Grafik und Malerei auf. Ein weiterer Aspekt, der in der Kartographie zum Tragen kommt, ist die Ästhetik, die als die „Wissenschaft vom Schönen, Lehre von der Gesetzmäßigkeit und Harmonie in Natur und Kunst“ (Duden (2006) Seite 99) bezeichnet wird. An die Empfindungen des Menschen gerichtet, schreiben Cawthon und Moere: „...*aesthetic is seen as something that enlivens or invigorates both body and mind, awakening the senses.*“ (Cawthon and Moere (2006) Seite 374).

Ästhetik, die Kunst des Schönen soll die Sinne des Menschen ansprechen und positive Empfindungen auslösen. Wobei der Sinn von Informationsvisualisierungen, wozu Karten und auch dreidimensionale Stadtmodelle gehören, nicht in erster Linie darin besteht, schöne Darstellungen zu erzeugen, sondern einen tieferen Einblick in die Daten zu ermöglichen (Cawthon und Moere, 2006). Wobei ansprechende, ästhetische Darstellungen die Wissensgenerierung unterstützen wie auch einen positiven Effekt auf die durchzuführende Aufgabenerledigung haben (Sonderegger und Sauer, 2010). Die Empfindungen, die durch die Ästhetik angesprochen werden, erschweren es die Ästhetik messbar zu machen. Es sollte also eine Antwort auf die Frage „*How can a few lines or blobs drawn on a piece of paper express motion, form, mood, and emotion?*“ (Hertzmann (2010) Seite 147) gefunden werden. Dies kann mit dem von Birkhoff (1933) eingeführten „Aesthetic Measure“ ansatzweise geschehen. Dieser definiert die Komplexität eines Objektes sowie die Harmonie, Symmetrie und Ordnung als entscheidende, die Ästhetik beschreibende Werte. Ein ausgewogenes Verhältnis eben dieser Größen macht auch eine gute Karte aus. Die Harmonie, Symmetrie, Ordnung und Komplexität sind im kartographischen Design zentrale Punkte, man spricht in diesem Zusammenhang auch von einem harmonischen, ausbalancierten Kartenbild (Slocum et al., 2005). Die Komplexität der Abbildung hat direkten Einfluss auf die Wahrnehmung von Karten und auch anderen georäumlichen Darstellungen (Bunch und Lloyd, 2006, Swienty et al., 2008b)

Den Unterschied, gleichzeitig aber auch die Gemeinsamkeit zwischen Kartographie und Kunst stellen Gooch und Willemsen (2002) heraus: Die Bilder eines Künstlers spiegeln den Blick des Künstlers auf eine Szene wieder, sie stellen somit den Blick und die Interpretation durch den Künstler in den Vordergrund. Im Gegensatz hierzu nimmt die Kartographie einen neutralen Blick auf eine Szene (Thematik) ein und überträgt Sachverhalte/Fakten an den Nutzer. Diese Übertragung sollte neutral erfolgen, kann aber schon durch das kartographische Primär- und Sekundärmodell (Abschnitt 2.2) und das kartographische Design (Abschnitt 2.3) beeinflusst sein.

Der Nicht-Photorealismus spiegelt die Anforderungen, die an eine ästhetische Darstellung gestellt werden wieder, er reduziert im Sinne von Brinkhoff die Komplexität einer Darstellung insbesondere durch sein Abstraktionsvermögen. Harmonie, Symmetrie und Ordnung sind insbesondere bei dreidimensionalen Abbildungen schwerer zu beeinflussen, da die Lage und Verteilung der räumlichen Objekte durch ihre Position vorgegeben ist. Es gilt, insbesondere für Stadtmodelle, wie schon von Bertin formuliert, dass die x-, y-Ebene bzw.

x-, y-, z-Ebene als graphische Variable nicht zur Verfügung steht (vgl. Abschnitt 2.3.2). Darüber hinaus scheinen die graphischen Variablen über das Potential zu verfügen, der Darstellung des Stadtmodells einen abstrakten, nicht-photorealistischen Eindruck zu verleihen. Über die graphischen Variablen hinausgehend kann im Bereich der dreidimensionalen Darstellungen mit verschiedenen Perspektiven gearbeitet werden, um die Visualisierung dem Nutzer in idealer Form zu präsentieren (Abschnitt 2.4).

3.4 Entwicklung nicht-photorealistischer Techniken

Der Nicht-Photorealismus, als noch junges Teilgebiet der Computergraphik, setzt bewusst Methoden zur Abstraktion ein, um die Darstellungen illustrativ aussehen zu lassen. Mit ihm gehen Begriffe wie „Cartoon Rendering“, „Sketchy Rendering“ und „Artistic Rendering“ einher (Gooch und Gooch, 2001). Mit dem Cartoon Rendering kann man die Darstellung aussehen lassen wie ein Cartoon, das Sketchy Rendering vermittelt den Eindruck, als sei die Darstellung skizziert. Mit dem Artistic Rendering können Effekte erzielt werden, als wenn die Objekte von einem Maler angefertigt wurden. Die beschriebenen Arten der Abstraktion werden für ein schon vorhandenes Bild durch verschiedene Filterfunktionen erreicht, die in Software implementiert sind. Durch diese Einzelbildbearbeitung kann ein weit gefächertes Spektrum an Darstellungsstilen realisiert werden (Abbildung 3-8).



Abbildung 3-8: Verschiedene Darstellungen einer Szene aus München. a) mit einem Stilisierungsfilter bearbeitet in Photoshop©; b) Kantenbetonung, die einen cartoonartigen Eindruck vermittelt.

Für die nicht-photorealistische Darstellung dreidimensionaler Stadtmodelle müssen diese Verfahren auf jedes einzelne Bild angewandt werden, das bei der Bewegung (Zooming, Panning) im Stadtmodell erzeugt wird. Da die Graphikkarte insbesondere auf die Transformation von geometrischen Formen in graphische Bilder zur Ausgabe spezialisiert ist, werden diese Aufgaben an die Graphikkarte übertragen (Jahnke et al., 2009b). Auf diesem Wege können illustrative Darstellungen durch Kantendetektion und Farbquantifizierung (Abbildung 3-9) erreicht werden (Kyprianidis und Döllner, 2008), eine Auflistung weiterer Verfahren zur Erzeugung von nicht-photorealistischen Darstellungen findet sich bei Sayeed und Howard (2006).

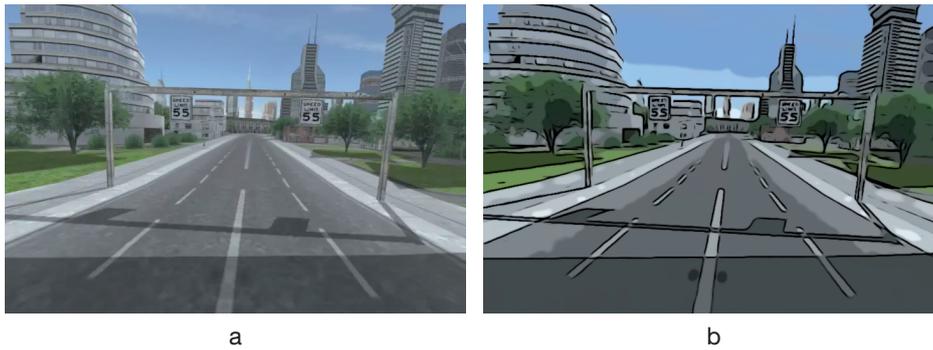


Abbildung 3-9: Gegenüberstellung einer photorealistischen Szene (a) und einer nicht-photorealistischen Szene (b) mit dem von Kyprianidis und Döllner (2008) entwickelten Verfahren
 (© Hasso-Plattner-Institut, Computergraphische Systeme)

Ein weiterer Weg der besprochen werden kann ist die Bearbeitung der Fassadentexturen vor der Darstellung. Die einzelnen, den Gebäudefassaden zugeordneten Texturen werden in einem Vorverarbeitungsschritt durch verschiedene Bildverarbeitungs- und Segmentierungsverfahren abstrahiert und dann mit der Geometrie in einer Darstellung kombiniert (Felbier, 2008), dies stellt das heute übliche Verfahren zur Erzeugung der Realität entsprechender Stadtmodelle dar (Kada et al., 2005, Haala und Kada, 2005). Dieses Verfahren birgt den Nachteil, dass es nahezu unmöglich ist, interaktiv die Darstellung anzupassen. Sollen neue Aspekte oder Informationen in die Darstellung mit aufgenommen werden oder auch nur die Farbdarstellung geändert werden, muss durch ein Pre-Rendering jede einzelne Fassadentextur neu berechnet und erzeugt werden. Eine dritte Möglichkeit eine abstrahierende Darstellung zu erhalten besteht darin, auf Texturinformationen gänzlich zu verzichten und die semantische Information wie z.B. die Nutzung über die graphischen Variablen direkt den geometrischen Primitiven zuzuordnen (Abbildung 3-10). Mit den Variablen Farbe für die Texturen und Größe für die Linien ist dies in Jahnke et al. (2011a) geschehen (Abbildung 3-14).

Für die Visualisierung einer bestimmten Nutzung werden, wie in Abbildung 3-10 dargestellt, aus einem dreidimensionalen Stadtmodell alle mit der entsprechenden Nutzung versehenen Gebäude extrahiert, den Fassaden, eine nach kartographischen Grundsätzen ausgewählte Farbe hinzugefügt und die für die Gebäude charakteristischen Kanten extrahiert. In diesem Fall sind charakteristische Kanten solche, deren angrenzende Flächen einen bestimmten Winkel miteinander bilden. Den Kanten wird dann noch eine Stärke (Größe) hinzugefügt und die bearbeiteten Gebäude werden zusammen mit den nicht bearbeiteten Gebäuden in eine Datei zur Visualisierung geschrieben. So können die Gebäude wie in Abbildung 3-14 mittels Google Earth© dargestellt werden.

Die Änderung der Farben oder auch Linienstärken ließe sich interaktiv ändern, als Nachteil dieses Verfahrens lassen sich die bisher nur wenig detaillierten Gebäude ausmachen. So finden sich kaum architektonisch detaillierte Gebäude mit modellierten Eingangs-, Fenster- oder Balkonbereichen. Ein weiterer Nachteil, der dieser Art Darstellung innewohnt sind sich zusammenschiebende und überlappenden Konturen der Gebäude bei flachen Betrachtungswinkeln auf das Stadtmodell (Swienty et al., 2008a)

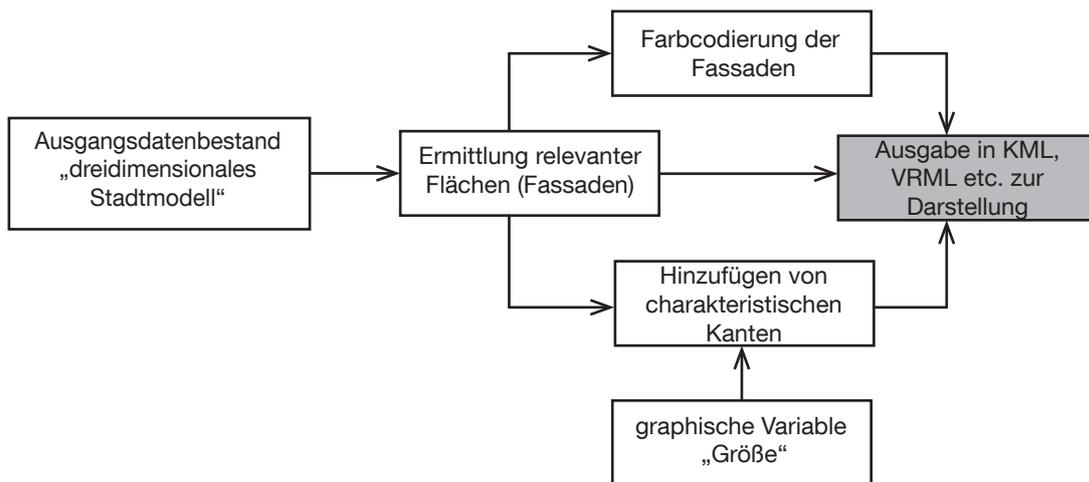


Abbildung 3-10: Ablauf zur Erzeugung einer nicht photorealistischen Darstellung ausgehend von einem dreidimensionalen Stadtmodell. (nach Jahnke et al. 2011a)

3.5 Nicht-photorealistische Informationsvisualisierungen

Nicht-photorealistisch inspirierte Informationsvisualisierungen finden sich in verschiedenen Bereichen. Wie der folgende Abschnitt verdeutlicht lassen sich viele verschiedene Visualisierungen unter dem Stichwort Nicht-Photorealismus zusammenfassen. Allen wohnt eine abstrakte oftmals auf das nötigste reduzierte Darstellung von stadträumlicher Umgebung inne. Durch die Abstraktion wird die Komplexität der Darstellung verringert somit bleibt mehr Platz für die Visualisierung weiterer Informationen, wie z.B. semantischer Informationen. Eingeführt wurden die nicht-photorealistischen Darstellungen mit Illustrationen für technische Objekte vgl. Abbildung 3-11 (Gooch et al., 1998).

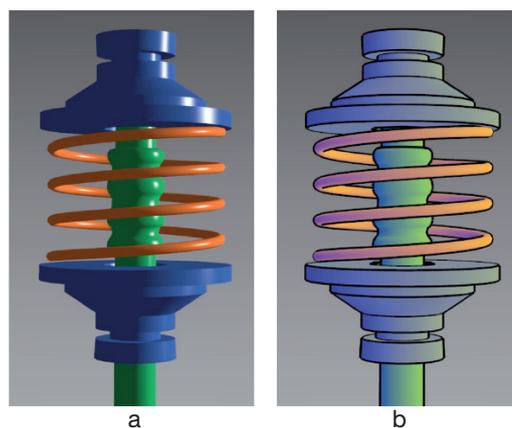


Abbildung 3-11: Illustrationen für Technische Objekte aus Gooch et al. (1998); (a): ein koloriertes Objekt, (b): ein abstraktes, Kanten-betontes Objekt



Abbildung 3-12: Verschiedene Grade der Abstraktion aus Santella und Decarlo (2004b)
 (a) das Original, (b) abstrahierte Szene, (c) stark abstrahierte Szene

Santella und DeCarlo (2004b) setzen die Abstraktion ein, um den Blick des Nutzers bewusst auf von ihm als interessant empfundene Bereiche zu lenken (Abbildung 3-12). Um dieses Ziel zu erreichen extrahieren sie Salienzinformationen aus dem Bild und abstrahieren anhand dieser Informationen. Ihr Ergebnis überprüfen sie anhand von Eye-Tracking Untersuchungen.

Middel et al. (2008) nutzen schematisierte dreidimensionale Gebäudestrukturen, um einen multidimensionalen semantischen Datensatz zu beschreiben. Durch Einsatz der graphischen Variablen Form, Farbe und Transparenz werden die semantischen Informationen über schematisierte Gebäudestrukturen kodiert (Abbildung 3-13).



Abbildung 3-13: Schematisierte dreidimensionale Gebäudestrukturen zur Beschreibung eines multidimensionalen semantischen Datensatzes über die graphischen Variablen Form, Farbe und Transparenz aus Middel et al. (2008)

Döllner und Walther (2003) setzen auf ein dreidimensionales Stadtmodell und stellen dies nicht-photorealistisch dar. Sie nutzen hierzu hervorgehobene Kanten und vereinheitlichte Farben für die Fassaden sowie an den Cartoon erinnernde Linienstile. Die Kodierung zusätzlicher Informationen findet man in den Darstellungen nicht, da sich auf den Algorithmus zur Abstraktion konzentriert wurde (vgl. Abbildung 1-2). Dieses Verfahren birgt den Nachteil, dass bei Gebäuden, mit vielen kleinen Details, Kanten, die nicht für das Gebäude charakteristisch sind, hervorgehoben werden, dieser Effekt kann insbesondere bei einer hohen Dichte zu Bildstörungen beitragen (Kada, 2007).

Die Integration semantischer Informationen in eine Stadtmodellvisualisierung findet sich bei Jahnke et al. (2011a). Hier wird die Nutzung über die graphischen Variablen Farbe und Größe kodiert. Die Variable Farbe findet Anwendung auf die Flächen bzw. Fassaden des Modells und die Variable Größe wird auf die Linien angewandt, die in unterschiedlichen

Stärken dargestellt werden (Abbildung 3-14). Wie der Abbildung 3-10 zu entnehmen ist, werden die Gebäude über ihre charakteristischen Kanten dargestellt.

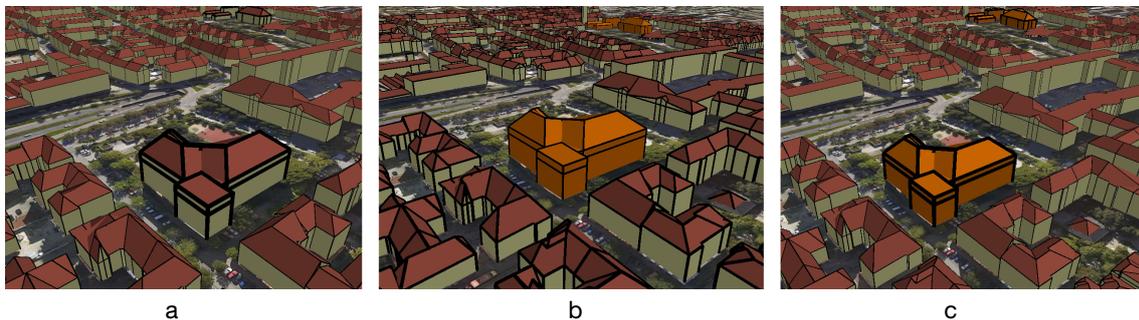


Abbildung 3-14: Anwendung der grafischen Variablen Größe/Strichstärke (a) und Farbe (b) sowie die Kombination beider (c), um die Gebäude mit einer bestimmten Nutzung hervorzuheben aus Jahnke et al. (2011a).

3.6 Stadtmodelle

Stadtmodelle, als ein zentraler Part in dieser Arbeit, sind schon in den vorherigen Abschnitten angekommen. Da sie als Informationsträger dienen sollen bedürfen sie einer eingehenderen Betrachtung. Von besonderem Interesse sind an dieser Stelle, die Eigenschaften von Stadtmodellen, wie das Level of Detail (LoD) Konzept die Erzeugung nicht photorealistischer Darstellungen unterstützt und welchen Beitrag die aus der traditionellen Kartographie bekannte Generalisierung leisten kann.

Ein Stadtmodell stellt im Sinne der Modelltheorie (Abschnitt 2.2) ein Abbild der stadt-räumlichen Wirklichkeit dar und ist nach Blade und Padgett (2002) ein dreidimensionaler Datensatz, der die Umgebung bzw. das Umfeld anhand von Realwelt- oder abstrakten Objekten beschreibt. Als Grundlage für die Objekte dienen die geometrischen Primitiven (Abschnitt 2.3.1). Das Stadtmodell enthält typischerweise die Gebäude mit Dachformen und Fassadenelementen, Bäume, Sträucher, Treppen sowie Straßen und deren Einrichtungsgenstände (Meng et al., 2007). Neben den darstellbaren bzw. sichtbaren Elementen eines Stadtmodells gehören zu einem digitalen Stadtmodell auch noch verbal beschreibbare, semantische Informationen (Nutzung der Gebäude, Anzahl der Parteien etc.). Digitale Stadtmodelle beinhalten somit eine Fülle an Informationen, die im Sinne der Geovisualisierung in eine Darstellung integriert werden können. Neue Visualisierungsstrategien sind hierfür nötig, um eine adäquate, den Nutzern einen Mehrwert bietende Darstellung zu erzeugen. Ein Beispiel für die Darstellung der Nutzung innerhalb eines Stadtmodells findet sich in Abbildung 3-14, in der die Nutzung anhand der graphischen Variablen in dem Stadtmodell kodiert ist.

Stadtmodelle lassen sich nach verschiedenen Kriterien einteilen. Eines der bekanntesten Kriterien ist die Einteilung nach dem Detaillierungsgrad auch „Level of Detail (LoD)“ genannt. Das Prinzip des LoD basiert auf einem Ansatz aus der Computergraphik und beschreibt dort die Reduktion der Geometrie für weiter vom Beobachter entfernte Objekte,

so dass nur eine vereinfachte Geometrie von der Hardware bearbeitet und dargestellt werden muss (Luebke et al., 2003). In erster Linie bringt dies einen Geschwindigkeitsvorteil bei der Darstellung, zum anderen würden kleine Details der Auflösung der Displays zum Opfer fallen und somit nicht mehr wahrgenommen und adäquat dargestellt werden können (Abschnitt 2.5.1). Zum Teil sind diese Details für die charakteristischen Züge eines Objektes oft von untergeordneter Relevanz, sodass nur die charakteristischen Züge erhalten bleiben müssen (vgl. Abschnitt 2.4). Dieses Prinzip der reduzierten Geometrie findet sich auch im CityGML Standard (OGC, 2012), in verschiedenen Abstraktionsstufen wird hier ein Bereich, der sich von einem einfachen Klötzchenmodell bis zu einem detaillierten architektonischen Modell erstreckt, beschrieben (vgl. Abschnitt 3.6.3 und Abbildung 3-18).

Vergleichbare Abstrahierungsstufen außerhalb Computergraphik oder Visualisierung findet man z.B. im Baurecht mit einer Grobplanung durch den Flächennutzungsplan und einer Verfeinerung durch entsprechende Bauleitpläne (BauGB, 2011)

3.6.1 Computergraphik

Die Computergraphik behandelt in erster Linie die Erzeugung von Bildern bzw. Grafiken zur Ausgabe auf einem Computerbildschirm. Als Grundlage hierzu dienen in erster Linie Daten, die heute in immer größerer Vielfalt und Dimensionalität vorliegen. Die Computergrafik dient somit dazu, Einsichten zu erlangen, die ohne eine grafische Darstellung sich nur schwer aus Zahlenkolonnen ableiten lassen würden. Aus diesem Grund findet die Computergrafik in vielen Teilen des täglichen Lebens bewusst und unbewusst Anwendung. Zu diesen Anwendungsbereichen zählen grafische Benutzeroberflächen, Filmanimationen, Kommunikationssysteme, Virtual Reality Anwendungen und noch weitere mehr (Bungartz et al., 2002, Nischwitz et al., 2012). Diese Entwicklung ist durch die Fortschritte in der Informationstechnologie möglich geworden, die schnellere und günstigere Komponenten für Computerhardware hervorgebracht hat.

Für die Erzeugung von Bildern dreidimensionaler Objekte müssen diese in einem Weltkoordinatensystem platziert werden. Hinzu kommen noch Lichtquellen, welche die Bühne beleuchten sowie eine oder auch mehrere Kameras, die einem oder mehreren Zuschauern entsprechen. Die Kamera nimmt ein Bild der Objekte auf der Bühne auf und repräsentiert dieses Bild dem Zuschauer auf dem Bildschirm. Dieses Bild entsteht in einem Rendering Prozess und wird heute von der Grafikhardware erzeugt. Der Rendering Prozess kann beliebig detailliert ausgestaltet sein, abhängig von der Art des Bildes das erzeugt werden soll. In die Erzeugung des Bildes kann durch Programmierung eingegriffen werden, sodass sich die Computergraphik in zunehmendem Maße frei programmierbarer Grafikhardware bedient, in deren Rendering Pipeline die Geometriestufe und die Rasterisierungsstufe beliebig angepasst werden können (Akenine-Möller et al., 2008). Über die sogenannten Shader⁹ werden in der Computergrafik geometrische Transformationen, die Beleuchtung der Szene und Schattierungen innerhalb der Szene berechnet. In frei programmierbare Shader lassen sich somit Verfahren integrieren, die der Szene einen natürlichen oder auch nicht-photorealistischen Eindruck verleihen (Gooch et al., 1998). Diese Anpassungsfähigkeit des Renderingprozesses eröffnet die Möglichkeiten, die Erkenntnisse aus der Kartographie in

⁹ Hardware- oder Softwaremodule, die bestimmte Berechnungsaufgaben für z.B. Punkte oder Polygone übernehmen. Hierzu gehören z.B. Transformationen, Beleuchtung und Schattierung.

die nicht-photorealistische Darstellung von dreidimensionalen Stadtmodellen einfließen zu lassen.

Die Rendering Pipeline setzt sich aus verschiedenen Einzelschritten zusammen die jedes dreidimensionales Objekt von der Repräsentation (als Koordinaten) im Rechner bis zur Darstellung auf dem Computerbildschirm durchlaufen muss (Abbildung 3-15).

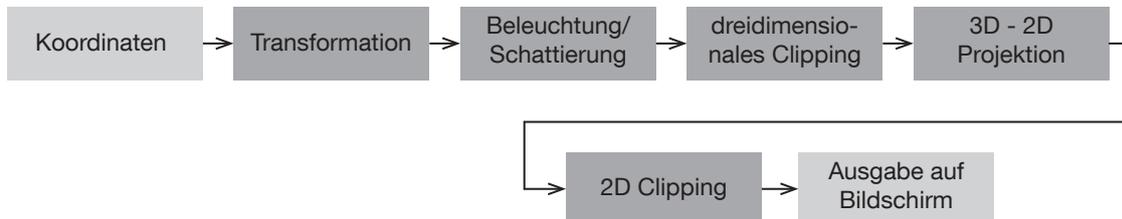


Abbildung 3-15: Schematische Darstellung der Rendering Pipeline basierend auf Kumke (2011) Seite 30

In die einzelnen Schritte der Rendering Pipeline kann, abhängig von der verwendeten Graphikhardware, durch Programmierung eingegriffen werden. Die Bedeutung der einzelnen Schritte ist im Folgenden zusammenfassend dargestellt.

Koordinaten: Die Beschreibung der Objekte im Rechner inklusive eventueller Benutzereingaben.

- Transformationen: Überführung der Objekte in ein Weltkoordinatensystem, in dem die einzelnen Objekte (Gebäude) einer Szene zueinander in Relation gesetzt werden. Sowie anschließende Transformation in das Kamerakoordinatensystem.
- Beleuchtung Schattierung: Berechnung der Wechselwirkungen von Objekten und verschiedenen Lichtquellen innerhalb der Szene.
- Dreidimensionales Clipping: entfernen der Objekte die außerhalb des Sichtbarkeitsbereiches der Kamera liegen. Hierzu wird ein View-Frustum (Kegelstumpf) definiert und nur die in diesem Kegelstumpf liegenden Objekte werden gezeichnet.
- 3D – 2D Projektion: Transformation der dreidimensionalen Objekte in die Ebene durch verschiedene Projektionen wie eine Zentral- oder Parallelprojektion (Perspektive).
- Zweidimensionales Clipping: Beschneiden der projizierten Szene auf die Größe der Darstellungsfläche.
- Ausgabe auf dem Bildschirm: das fertig berechnete (gerenderte) Bild der dreidimensionalen Objekte wird auf dem Bildschirm des Nutzers ausgegeben.

Damit dreidimensionale Objekte auf dem Bildschirm dargestellt werden können bedürfen sie einer rechnerseitigen Repräsentation. Wie diese Repräsentation ausgestaltet ist hängt in erster Linie von einem Einsatzgebiet ab. Die verschiedenen Einsatzgebiete können in der Modellierung, der Berechnung und der Darstellung liegen. Für jedes Einsatzgebiet gibt es eine angepasste Repräsentationsform die für ihr Gebiet optimale Ergebnisse erwarten lässt. Da jedes Objekt alle Schritte der Rendering Pipeline durchlaufen muss, und die

Anzahl der Objekte in einem Stadtmodell schnell sehr hoch sein kann, bedarf es Verfahren mit denen eine geometrische Reduktion erreicht werden kann (LoD – Level of Detail). Hierzu haben sich in der Computergraphik verschiedene Verfahren etabliert (Luebke et al., 2003). Diese Verfahren eignen sich jedoch nicht für die Geometriereduktion von dreidimensionalen Gebäude- oder Stadtmodellen (Kada, 2007). Für diesen Bereich bedarf es somit anderer Ansätze, die insbesondere die globale Form der Gebäude nicht zerstören (Abschnitt 3.6.4). Stadtmodelle lassen sich auch nach einem Level of Detail Konzept einordnen (Kolbe, 2008), welches sich von einem einfachen Klötzchenmodell bis hin zu einem sehr detaillierten Architekturmodell erstreckt (Abschnitt 3.6.3).

3.6.2 Beschreibung von Gebäudemodellen

Dreidimensionale Gebäude können nach verschiedenen Prinzipien modelliert werden. Bungartz et al (2002) zählen hierzu die Randbeschreibung (Boundary Representation, vgl. Abbildung 3-16b), bei der das Objekt durch umhüllende Begrenzungsflächen modelliert wird, die Beschreibung mit Raumprimitiven (Constructive Solid Geometry, vgl. Abbildung 3-16a), die Objekte werden durch eine definierte Menge an verschiedenen Primitiven, die durch Boolesche Operatoren verknüpft werden repräsentiert. Als weitere Art der Repräsentation nennen sie die Beschreibung mittels des Zellzerlegungsverfahrens (Cell Decomposition, vgl. Abbildung 3-16c), hierbei erfolgt die Modellierung mittels Primitiven, die verschiedene Formen und Größen annehmen können. Zur Speicherung in Datenbanken oder für den Datenaustausch wird im Allgemeinen die Randbeschreibung bevorzugt (Kada, 2007) auf der auch das Datenaustauschformat für digitale Stadtmodelle CityGML (OGC, 2008) basiert.

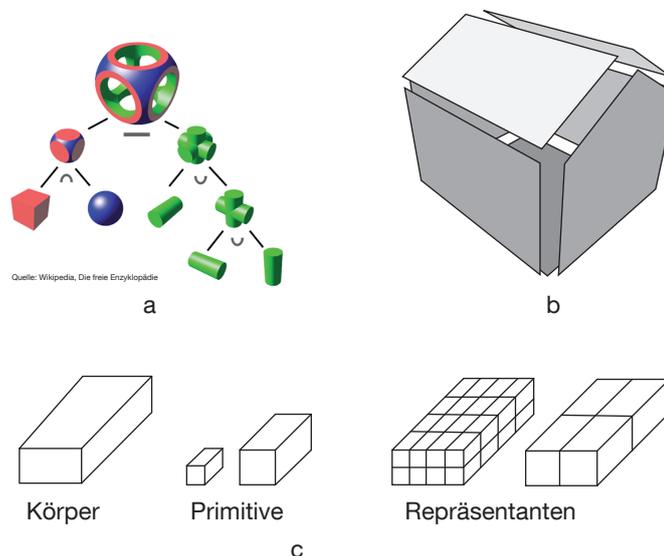


Abbildung 3-16: Arten der Modellierung von dreidimensionalen Objekten.
 a) die Modellierung mittels Raumprimitiven, b) die Randbeschreibung von Objekten und
 c) die Modellierung mittels des Zellzerlegungsverfahrens

Gebäude lassen sich unabhängig von ihrer Modellierungsart und Erfassungsmethode in verschiedene Kategorien einteilen, diese Einteilung beruht auf der Gebäudeform und der mit ihrer Form verbundenen Komplexität (Förstner, 1999). Für Stadtmodelle unterscheidet man:

- Parametrische Gebäudemodelle
- Generische Gebäudemodelle

Parametrische Gebäudemodelle werden durch einen kleinen und a priori festgelegten Satz an Parametern beschrieben. Diese Art der Beschreibung eignet sich insbesondere für wenig komplexe Gebäude. Als Beispiel kann ein Gebäude mit Satteldach z.B. über zwei Höhenangaben, die Ausdehnung der Grundfläche, die Orientierung des Gebäudes und den Ort beschrieben werden. Die Beschreibung einfacher auch L-förmiger Gebäude ist auf diese Weise möglich. Werden die Gebäude komplexer muss die Anzahl der Parameter erhöht werden, handelt es sich um einen, in seiner Anzahl nicht limitierten, Satz an Parametern spricht Förstner von generischen Gebäudemodellen. Durch die Erhöhung der Parameter lässt sich ebenso die Komplexität der Gebäude erhöhen, die beschrieben werden sollen. Beispielhafte Darstellungen von parametrischen und generischen Gebäudemodellen finden sich in Abbildung 3-17.

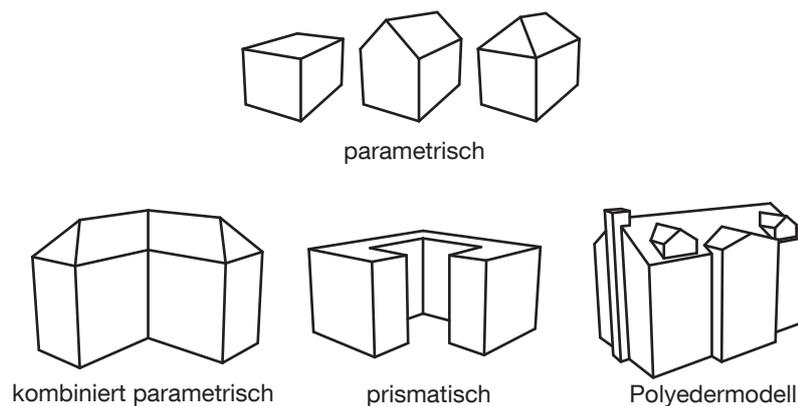


Abbildung 3-17: Verschiedene Typen von Gebäudemodellen, eingeteilt nach ihrer Form und Komplexität (aus Kada 2007 Seite 18)

Ein komplexes Gebäude bietet für die Visualisierung mehr Möglichkeiten und ist dem Original Gebäude in der Regel ähnlicher. Andererseits müssen bei komplexen Gebäuden viele Geometrieinformationen von der Hardware bearbeitet werden, bis eine Darstellung erfolgen kann. Dies kann insbesondere bei (Earth-)Viewern, die eine virtuelle Erkundung der Gebäude oder einer ganzen Stadt zulassen, zu Problemen führen, sodass mit steigender Anzahl der darzustellenden komplexen Gebäude diese für die Darstellung generalisiert/vereinfacht werden müssen (Fan et al., 2009). Zur Beschreibung verschiedener Detaillierungsstufen von Gebäuden und Stadtmodellen, die über Generalisierungsoperationen (Abschnitt 3.6.4) erreicht werden können, hat Kolbe (2008) das Prinzip des Level of Detail aus der Computergraphik auf Stadtmodelle übertragen.

3.6.3 Level of Detail in Stadtmodellen

Stadtmodelle lassen sich wie schon erwähnt in vier verschiedene Level of Detail (LoD) einordnen (Kolbe, 2008). Begonnen wird mit dem LoD 1, ein einfaches Klötzchenmodell, in dem der Grundriss der Gebäude mit der Höhe der Gebäude extrudiert wird. Es entsteht ein einfaches Modell welches leicht zu generieren ist und einen ersten Einblick in die Stadtstruktur zulässt. Aufwind hat dieser LoD mit der Umgebungslärmrichtlinie (EU, 2002) erfahren, da diese die Mitgliedsländer zur Kartierung des Lärms aufforderte, für deren Berechnung Stadtmodelle in der Auflösungsstufe LoD 1 herangezogen wurden. Somit existieren LoD1 Gebäudemodelle (prinzipiell) europaweit und können als Ausgangsdatenbestand für ein Informationssystem auf Stadtmodellbasis dienen. Modelle dieses Levels beinhalten keine Informationen zu Dachformen und Fassadenelementen oder Einrichtungsgegenständen (Abbildung 3-18a). Der LoD 2 beinhaltet zusätzlich zu den Informationen des Level 1 Dachformen (Abbildung 3-18b). Das Modell entspricht mehr der Wirklichkeit und es lassen sich die Gebäude besser gegeneinander abgrenzen. Im LoD 3 werden zu den Dachformen die Gebäude um Fassadenstrukturen ergänzt, hierzu zählen Fenster, Balkone, Eingangsbereiche etc. (Abbildung 3-18c). Im LoD 4 ist zu den Dachformen und Fassadenelementen zusätzlich noch der Innenraum modelliert, in diesem Fall spricht man von einem Architekturmodell (Abbildung 3-18d).

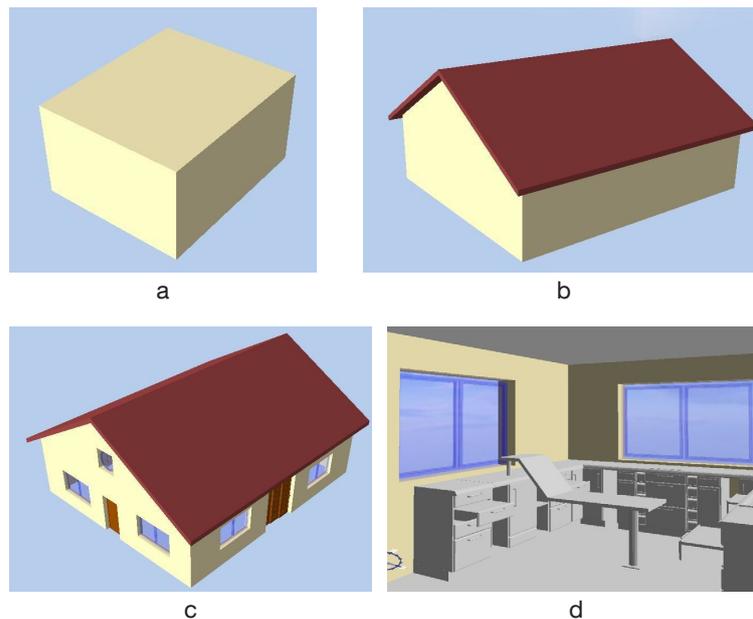


Abbildung 3-18: Level of Detail (LoD) nach dem CityGML Standard. a) LoD1: Klötzchenmodell; b) LoD2: Dachformen; c) LoD3: Dachformen und Fassadenelemente; d) LoD4: Architektur Modell
(nach Fan et al. 2009)

Verglichen mit der Einteilung der Gebäudemodelle nach Förstner (1999) in parametrische und generische Modelle wären die LoD 1 und 2 den parametrischen Modellen und die LoD 3 und 4 den generischen Modellen zuzuordnen.

Die unterschiedlichen LoD lassen sich für verschiedene Visualisierungs- und Berechnungszwecke verwenden. So war das LoD 1 Modell, wie schon erwähnt, Grundlage für

Berechnungen nach der Umgebungslärm Richtlinie. Der extrudierte Grundriss inklusive der Dachformen (LoD 2) wird heute vielfach als Grundlage für die gängigen Stadtmodelle verwandt.

Den LoD 1 und 2 Stadtmodellen werden durch die Fassadentexturierung weitere Details, wie Fassadenstrukturen hinzugefügt, da sie in Modellen dieser Detaillierungsstufen nicht als geometrische Informationen vorliegen (Förstner, 1999).

3.6.4 Generalisierung von Stadtmodellen

Die Generalisierung hat in der Kartographie eine lange Tradition. Sie ist notwendig, um lesbare Karten in verschiedenen Maßstäben zu erzeugen. Bei einem Übergang von einer großmaßstäbigen zu einer kleinmaßstäbigen Karte würde die kleinmaßstäbige Karte ohne Generalisierung unübersichtlich und unleserlich werden. Aus diesem Grunde haben sich in der traditionellen Kartographie verschiedene Generalisierungsoperationen etabliert (Hake et al., 2002, Slocum et al., 2005).

In der Generalisierung wird zwischen der Objektgeneralisierung und der kartographischen Generalisierung unterschieden (Weibel und Dutton, 1999, Hake et al., 2002). Zur Objektgeneralisierung gehört neben der Erfassungsgeneralisierung die Modellgeneralisierung, welche ein Objektmodell in ein neues „Objektmodell [mit] geringerer semantischer und geometrischer Auflösung“ überführt (Hake et al. (2002) Seite 168). Die in Abbildung 3-20 aufgeführten Generalisierungsoperationen gehören laut Hake et al. (2002) zu den elementaren Vorgängen der kartographischen Generalisierung. Die Objekt- wie auch die kartographische Generalisierung kommen insbesondere bei der Darstellung von Stadtmodellen zur Anwendung. Die nicht-photorealistische Darstellung profitiert in besonderem Maße von der Objekt- wie auch von der kartographischen Generalisierung, da sie die, der nicht-photorealistischen Darstellung innewohnende Abstraktion und Informationsreduzierung unterstützen. Zur Unterscheidung von Objekt- und kartographischer Generalisierung im Kontext der Stadtmodellldarstellung sei auf Abbildung 3-19 verwiesen.

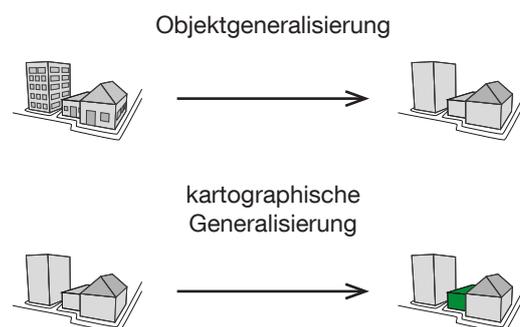


Abbildung 3-19: Objektgeneralisierung und das „Bewerten“ als elementarer Vorgang der kartographischen Generalisierung

Die in Abbildung 3-20 aufgeführten Operationen der kartographischen Generalisierung können in einer kontextbezogenen Reihenfolge zu Generalisierungsprozessen zusammen-

gesetzt werden. Über verschiedene Randbedingungen lässt sich auf die Generalisierung Einfluss nehmen. Zu den Randbedingungen zählen z.B. Abstandskriterien die eingehalten werden müssen, sowie Objekte die in ihrer Lage nicht verschoben werden dürfen etc. Ziel einer Generalisierung ist es, durch Erfüllung der Randbedingungen in einem möglichst hohem Maße ein brauchbares Kartenbild zu erzeugen (Monnot et al., 2006).

Geometrisch

Vereinfachung / Simplifizierung



Vergrößerung / Betonung



Verdrängung



Sachlich mit geometrischer Wirkung

Zusammenfassung / Aggregation



Auswählen



Klassifizierung



Bewerten

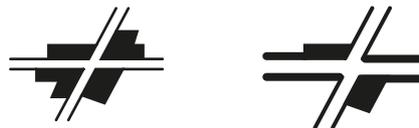


Abbildung 3-20: Generalisierungsoperationen der traditionellen Kartographie nach Hake et al (2002) Seite 169

Die Generalisierung dreidimensionaler Strukturen ist deutlich komplexer als die Generalisierung von Objekten die sich nur in einer Ebene ausdehnen (zweidimensional). Die für die zweidimensionale Generalisierung verfügbaren Operationen können jedoch nicht ohne wesentliche Anpassungen auf den dreidimensionalen Fall übertragen werden (Meng und Forberg, 2007). Die aus der Computergraphik bekannten Verfahren zur Erzeugung des Level of Detail (Bungartz et al., 2002), wie z.B. die Simplifizierung und Aggregation lassen sich nicht ohne Weiteres auf die Generalisierung von dreidimensionalen Gebäuden anwenden (Kada, 2007). Die Geometriereduktion in der Computergraphik berücksichtigt nicht die Gebäudecharakteristika, sodass deformierte Gebäudestrukturen entstehen können, die

das eigentliche Gebäude nur noch in Ansätzen erkennen lassen. Diese Deformationen beeinträchtigen die Wahrnehmung in erheblichem Maße treten sie groß und in der Nähe zum Betrachter auf.

Mit der Generalisierung von dreidimensionalen Stadtmodellen soll der Umfang der geometrischen Strukturen wie auch die sichtbaren Informationen für die gesamte Stadt reduziert werden. Hieraus ergibt sich, dass generalisierte Gebäude auch nahe beim Betrachter dargestellt werden können ohne ihre charakteristischen Elemente zu verlieren. Da das Prinzip des Level of Detail jedoch für weit vom Betrachter entfernt Objekte erdacht wurde, um in erster Linie die Darstellung zu beschleunigen, stören diese Deformationen in der Regel nicht, da sie für den Betrachter klein dargestellt und zum Teil nicht sichtbar sind (Kada, 2007).

Somit ist die Aufgabe der dreidimensionalen Generalisierung von Gebäuden eine geometrische Reduzierung unter Beibehaltung ihrer charakteristischen Form zu erreichen, um den Nutzer in der räumlichen Wahrnehmung zu unterstützen (Meng und Forberg, 2007).

In verschiedenen Arbeiten ist die Generalisierung dreidimensionaler Gebäude nach unterschiedlichen Verfahren angegangen worden. Hierzu zählen die Regelbasierte Generalisierung (Sester und Klein, 1999), die Generalisierung mit Hilfe von Baumstrukturen (Thiemann und Sester, 2004) und die Generalisierung mit adaptiven Mustern (Thiemann und Sester, 2006) sowie die Generalisierung zur globalen Formvereinfachung (Kada, 2007). Fan et al. (2009) reduzieren die geometrischen Elemente von komplexen Gebäuden (LOD 3 und 4), die bei einer Visualisierung nicht sichtbar sind. Die Gebäude werden auf ihre äußere Hülle beschränkt, in einem weiteren Schritt können dann der Grundriss und die Dachstrukturen generalisiert werden (Fan, 2010). Das Ergebnis einer Reduzierung eines Gebäudes auf seine äußere Hülle ist in Abbildung 3-21 zu sehen.

Die Anzahl dargestellter Objekte korrespondiert mit der Anzahl der Vektoren, durch die das Objekt gebildet wird und lässt so Rückschlüsse auf den Detaillierungsgrad zu. Eine hohe Anzahl an Vektoren bedingt viele Verdeckungs-, Sichtbarkeits- und Tiefeninformationen, die berechnet werden müssen, insbesondere für Teile des Gebäudes die niemals sichtbar sein werden (Bungartz et al., 2002). Eine reduzierte Objektgeometrie trägt somit zu einer beschleunigten Darstellung, insbesondere auf kleinen Geräten mit begrenzter Rechenkapazität, bei. Auch lassen sich die Gebäudeinformationen schneller über ein Netzwerk übertragen (Jahnke et al., 2011b).

Ein Dilemma, das an dieser Stelle sichtbar wird, sind die beiden existierenden Sichtweisen auf ein Stadtmodell. Zum einen soll das Stadtmodell als möglichst geometrisch detailliertes und mit vielen semantischen Attributen angereichertes Informationssystem fungieren. Zum anderen soll deren Darstellung für den Nutzer einfach und leicht, ohne störende oder nicht relevante Details zu erfassen sein. Somit stellt die Generalisierung von dreidimensionalen Gebäudemodellen ein Bindeglied zwischen Informationssystem und Visualisierung dar. Unterschiedliche Anwendungsszenarien bedingen verschiedene Abstraktionsstufen (Level of Detail), um dem Nutzer eine ansprechende Darstellung zu liefern und ihn in seiner Wissensaufnahme zu unterstützen.

Insbesondere für die Darstellung auf Geräten mit einem kleinen Display und begrenzter Rechenleistung ist die Generalisierung ein überaus wichtiges Hilfsmittel für eine geometrische Reduzierung der darzustellenden Informationen.

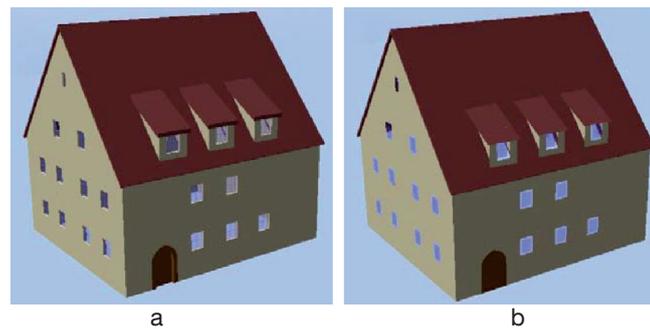


Abbildung 3-21: Vergleich zweier Gebäude einmal ausmodelliert (a) und zum Vergleich die äußere Hülle des Gebäudes (b) aus Fan et al. 2009

3.6.4.1 Informationsfilterung

Die Informationsfilterung ist in kartographischen Generalisierungsoperationen ausgedrückt das Auswählen relevanter Objekte, die nach dem Generalisierungsschritt erhalten bleiben sollen (Abbildung 3-20). Die Informationsfilterung ist gegenüber der Auswahl nicht nur von semantischen Informationen sondern auch von einem zu erfüllenden Nutzerbedürfnis abhängig.

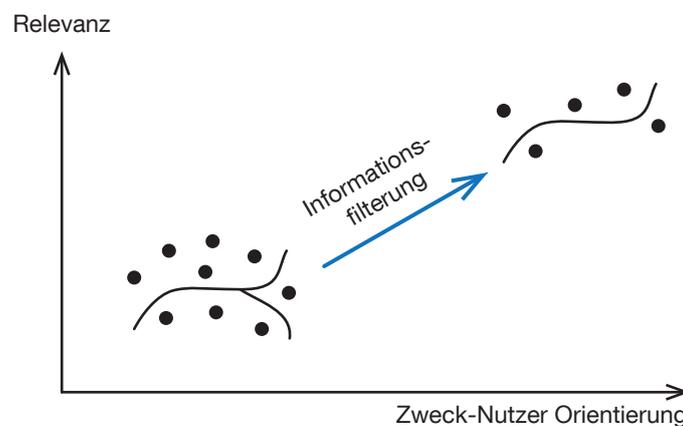


Abbildung 3-22: Informationsfilterung eine auf Relevanzkriterien basierende maßstabsunabhängige Auswahl von Objekten zu Visualisierung

Angelehnt an einen Prozess zur Erzeugung eines kartographischen Produktes muss Klarheit über die Ausgangsdaten vorherrschen. Ein Primärmodell muss vorhanden sein, auf dem die Gestaltung aufsetzen kann (Abschnitt 2.2.2). Das Primärmodell wird so angelegt, dass es für möglichst viele verschiedene Darstellungen geeignet ist. Insbesondere aus dem Grund, da die Datenerhebung in der Regel den kostenintensivsten Teil ausmacht. Wie schon weiter oben erwähnt, soll die Darstellung ein Nutzerbedürfnis erfüllen. Der Kartograph kommt nicht umhin die Daten des Primärmodells an die Aufgabe, welche das Stadt-

modell erfüllen soll, anzupassen. Um diese Anpassung zu erreichen, steht ihm zum einen die Generalisierungsoperationen und zum anderen die Informationsfilterung zur Verfügung. Die Informationsfilterung kann als eine auf Relevanzkriterien basierende Auswahl von Informationen, die unabhängig von einem darzustellenden Maßstab ist, verstanden werden. Betrachtet man beide Verfahren einzeln, setzt die Informationsfilterung zu einem früheren Zeitpunkt im kartographischen Designprozess an. Beide Verfahren dienen der Reduzierung von Informationen, setzen mit ihrer Methodik aber an verschiedenen Stellen im kartographischen Designprozess an.

Die Informationsfilterung (Abbildung 3-22) wird dort eingesetzt, wo Information reduziert werden muss. So dass schon vor dem Darstellungsprozess (Abschnitt 3.6.1) festgelegt wird welche Information überhaupt verwendet werden soll (Reichenbacher, 2007).

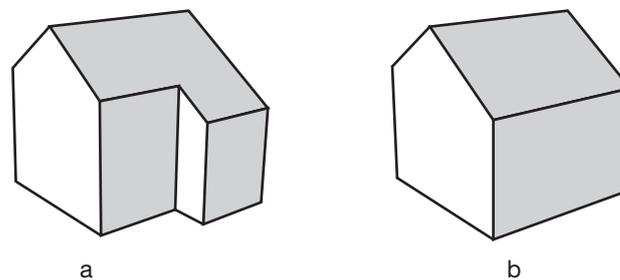


Abbildung 3-23: Generalisierung eines Gebäudes zur Geometrievereinfachung (Kada 2007)
a) vor der Generalisierung und b) nach der Generalisierung

Die Generalisierung dreidimensionaler Strukturen hat eine Reduzierung der Geometrie zur Folge (Abbildung 3-23). Mit ihr sollen die geometrischen Grundobjekte wie Punkte, Linien und Flächen, aus denen ein Gebäude zusammengesetzt ist, reduziert werden, da deren Anzahl direkten Einfluss auf die Darstellungsgeschwindigkeit hat. Mit der Informationsfilterung sollen die Objekte ausgewählt werden, deren Darstellung zur Befriedigung eines Nutzerbedürfnisses wichtig ist. Mit einer schnellen (verzögerungsfreien) Darstellung wird ein positives Benutzungserlebnis verknüpft. Die Generalisierung von Fassaden unterstreicht die Wichtigkeit der Generalisierung für Visualisierungen auf Geräten mit begrenzter Darstellungsfläche zu Unterstützung nicht-photorealistischer Abbildungen.

3.6.4.2 Generalisierung von Fassaden

Neben den geometrischen Primitiven und den Gebäuden muss entschieden werden, welche Teile von Gebäuden dargestellt werden sollen. In diesem Abschnitt soll speziell auf den Generalisierungsoperator „Typifizierung“, einen speziellen Auswahloperator, (Li et al., 2004) eingegangen werden. Dieser ermöglicht es gleichartige Strukturen zu reduzieren. So bietet dieser Operator, zusammen mit dem Auswahl Gesetz nach Töpfer, die Möglichkeit, die Anzahl von z.B. Fenstern zu reduzieren (Abbildung 3-24). Die Anzahl der Objekte wird an die Darstellung angepasst, so dass sie in kleineren Maßstäben nicht in einander verschwimmen sondern immer noch klar zu identifizieren, eindeutig gegeneinander abzugrenzen sind und die Informationsdichte insbesondere auf Geräten mit kleinen Displays in

einem angemessenen Rahmen bleibt. Die Typifizierung von Gebäudefassaden stellt somit ein wichtiges Hilfsmittel dar, um die Informationsdichte des einzelnen Gebäudes bzw. der ganzen Stadt zu reduzieren und unterstützt somit die nicht-photorealistische Darstellung.

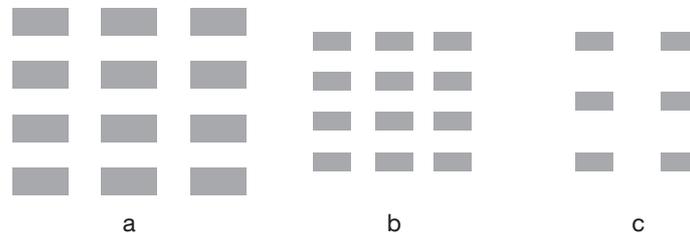


Abbildung 3-24: Generalisierung von gleichartigen Objekten. a) der Original Zustand, b) das Original skaliert, c) den Operator „Typifizierung“ angewandt.

Die Typifizierung als Operator der Generalisierung in der traditionellen Kartographie wird auf zweidimensionale Kartenobjekte angewandt. Übertragen in den dreidimensionalen Raum werden in einem ersten Schritt, im Zuge der geometrischen Reduzierung, die dreidimensionalen Fassadenstrukturen verebnet und in einem zweiten Schritt die Anzahl der Objekte an den Zielmaßstab angepasst. Man erhält dann die äußere Hülle der Gebäude (Fan et al., 2009). Der Schritt der Reduzierung der Fassadenobjekte enthält mehrere Freiheitsgrade. Zum einen ist dies die Anzahl der Objekte, abhängig von der Verwendung und dem Zielmaßstab, zum anderen kann die Verteilung innerhalb der Fassade nach Jahnke et al. (2009a) unterschiedlich vorgenommen werden. Die Verteilung und die Größenanpassung der Elemente kann nach verschiedenen Vorgaben erfolgen, dies wären die Erhaltung der Form, die Typifizierung in Tendenzrichtung, Erhalten des Abstandes zwischen den Elementen sowie den Elementen und dem Rand.

3.6.4.3 Abstraktion und Informationsdichte am Beispiel von Gebäudefassaden

Die im vorherigen Abschnitt beschriebenen Möglichkeiten zur Verteilung der Fassadenelemente innerhalb einer Fassade sind auf die Gebäude einer dreidimensionalen Szene angewandt worden. Die Typifizierung setzt sich somit aus zwei Schritten zusammen, zum einen der Festlegung der Anzahl der Fassadenelemente, zum anderen der Verteilung der Fassadenelemente. Die Anzahl der Elemente wurden adäquat reduziert, sodass sich ein harmonisches Fassadenbild ergab, weiter wurden die verschiedenen Verteilungsmöglichkeiten mit der gleichen Anzahl an Elementen durchgeführt.

Abbildung 3-25a zeigt ein Foto der Szenen aus dem Münchner Osten. Abbildung 3-25b zeigt das Modell der Szene, welches mithilfe des Fotos rekonstruiert wurde. Das Modell enthält teilweise modellierte Fenster, Balkone und Eingangsbereiche. Das Modell besteht in dieser Detaillierungsstufe aus 3094 Kanten und 1184 Flächen. Für eine verkleinerte Darstellung, wie in dieser Abbildung eignet sich dieses detaillierte Gebäude nicht mehr. Es wird die Notwendigkeit deutlich, die Fassadenelemente zu typifizieren. Nach der Typifizierung besteht das Modell nur noch aus 587 Kanten und 193 Flächen, was einer Reduzierung der

Kanten um 81% und einer Reduzierung der Flächen um 84% entspricht (Abbildung 3-26). Der Einsatz geeigneter Verfahren, wie in diesem Fall der Generalisierung, zur Informationsfilterung ermöglichen es vor dem Hintergrund verfügbarer semantischer Informationen, die darzustellenden Details auf ein Minimum zu reduzieren. Damit kommt man zu Datensätzen, die für eine Darstellung auf mobilen Geräten mit kleiner Displayfläche angepasst sind. Der Netzwerkverbindung und der Rechenleistung solcher Geräte kommen die reduzierten Datensätze ebenfalls zugute, auch mit der geringen Darstellungsfläche harmonieren die reduzierten Datensätze deutlich besser.



Abbildung 3-25: Typifizierung von Gebäudefassaden. a) zeigt ein Bild der Szene, b) zeigt die modellierten Gebäude mit modellierten Fenstern, Balkonen und Eingangsbereichen

Abbildung 3-26a und b zeigen die Szene nach der Typifizierung. In Abbildung 3-26a wurden die Abstände zwischen den Elementen erhalten, was dazu führt, dass die Fenster etc. vergrößert dargestellt werden. In Abbildung 3-26b ist darauf geachtet worden, dass die Abstände von Fassadenelement und Rand sowie die Abstände zwischen den einzelnen Elementen konstant sind. Dies führt zu horizontal verzerrten Elementen.



Abbildung 3-26: Typifizierung von Gebäudefassaden, a) zeigt ein Ergebnis der Typifizierung und b) zeigt ein nicht optimales Verteilungsergebnis der Typifizierung

In einem weiteren Schritt wurden diese Szenen durch eine Nutzerbefragung evaluiert. Zu den potentiellen Nutzern zählten 67 Befragte (37 männlich, 30 weiblich) im Alter von 14 bis 26 Jahren. Hierbei kam heraus, dass das Erhalten der Abstände zwischen den einzelnen Elementen am besten abgeschnitten hat. Die Erhaltung der Abstände zwischen Rand und Element sowie zwischen den Elementen hat etwas schlechter abgeschnitten. Wobei anzumerken ist, dass auch bei Betrachtung der weiteren Verteilungsmuster die Unterschiede nur marginal ausfallen.

Dieses Beispiel zeigt, dass es, wenn die Fassaden gegenüber ihrer realen Entsprechung vereinfacht werden, nicht unerheblich ist, wie diese Vereinfachung aussieht. Auch macht die Abbildung 3-25 im Verhältnis zur Abbildung 3-26 deutlich, dass eine Skalierung von Stadtmodellen für die Anzeige auf kleinen mobilen Displays nur bedingt brauchbar ist. Die

Bedeutung der Informationsfilterung und der Generalisierung insbesondere durch den Operator Typifizierung wird nochmals deutlich unterstrichen.

3.6.5 Anwendungsgebiete dreidimensionaler Stadtmodelle

Stadtmodelle finden, wie schon angedeutet in vielen Bereichen Anwendung. Zu den wichtigsten Anwendungsbereichen zählt sicherlich, die schon in der Einleitung erwähnte, Stadtplanung (Fricke, 2008) und Landschaftsentwicklung (Lange et al., 2003). Hier finden Stadtmodelle insbesondere beim Vergleich vorhandener und zukünftiger Bebauung und bei der Bürgerbeteiligung in Planungsprozessen Anwendung. Bürger können somit rechtzeitig und in vollem Umfang über die zu erwartenden Veränderungen informiert werden. Hierzu gehören wie sich zukünftige Bebauung in vorhandene einfügt, Trassenplanung von Straßen und Eisenbahnstrecken sowie Sichtbarkeitsanalysen, um nur einige zu nennen.

In der Ausbildung finden digitale Stadtmodelle zunehmend Anwendung, insbesondere im Bereich Sicherheit und Verteidigung ist ein wachsendes Feld auszumachen. Georäumliche Daten wie auch Stadtmodelle werden für Vorhersage-, Trainingsszenarien und Einsatzunterstützung eingesetzt. Zu den militärischen Anwendungsfeldern gehören

- „Planung und Unterstützung militärischer Operationen auf strategischer, operativer und taktischer Ebene“ und die
- „Ausbildung und Übung durch realitätsnahe Modellbildung und Simulation.“ (Ohlhof (2012) Seite 170ff)

In der militärischen Praxis werden Modelle der Umwelt in Simulationssystemen¹⁰ für das taktische Training sowie zur Einsatzvorbereitung eingesetzt, um allen Beteiligten realitätsnahe und situationsgerechte Information zur Verfügung zu stellen und eine optimale Vorbereitung zu ermöglichen (Hengstler, 2012, Müller, 2012, Knerr et al., 2002, Salas et al., 2002). Die Ausbildung von Fluglotsen in einem Air Traffic Tower Simulator stellt ein weiteres Ausbildungsszenario dar (Stone, 2002). Im zivilen Sicherheitsbereich finden georäumliche Daten insbesondere Anwendung in der „Krisenvorsorge und Katastrophenschutz“, und bei der „Planung von Evakuierungsoperationen“ (Ohlhof (2012) Seite 171). Hier können dreidimensionale Stadtmodelle die Planung und den Einsatz von Hilfsmaßnahmen unterstützen sowie eventuelle Gefahrenpunkte verdeutlichen.

Neben der oben erwähnten Stadtplanung finden Stadtmodelle in der Visualisierung alter, nicht mehr vorhandener oder erhaltenswerter Bausubstanz Anwendung (Stone, 2002). Stadtmodelle bieten dem Nutzer die Möglichkeit in Welten einzutauchen, deren Erleben und Erfahren ohne weiteres nicht möglich ist. Für diesen Anwendungszweck bieten insbesondere abstrakte Darstellungen die Möglichkeit, Informationen auf eindeutigen Wege zu kommunizieren, die durch Unsicherheiten belastet sind. Hierzu gehören Details, über deren genaue Form, Ausprägung und Ausgestaltung keine Informationen mehr vorliegen. Insbesondere der Nicht-Photorealismus eignet sich um diese Unsicherheiten zu visualisieren (Döllner und Kyprianidis (2009), Abbildung 3-5).

Anwendungsszenarien, welche hier noch nicht erwähnt wurden sind die Navigation und die explorative Geoanalyse mit bekannten Earth Viewern wie z.B. Google Earth®. In der

¹⁰ Virtual Battle Space 2 der Firma Bohemia Interactive Simulations (<http://products.bisimulations.com/products/vbs2/overview> 17.12.2012)

Navigation werden Stadtmodelle sowohl für die Fußgänger- als auch für die Autonavigation eingesetzt. In der explorativen Geoanalyse werden die Stadtmodelle zur Erkundung der näheren oder auch unbekannter Gegend eingesetzt. Bisher beim Nutzer über einen Raumausschnitt nicht vorhandene Informationen sollen auf diese Weise erlangt werden, um im besten Fall eine Entscheidungsfindung zu unterstützen.

4. Wahrnehmung

4.1 Kognition in der Kartographie

Die visuelle Wahrnehmung sowohl zweidimensionaler wie auch dreidimensionaler Darstellungen hat entscheidenden Einfluss auf die kartographische Gestaltung. Ohne Verfahren zur Darstellung dreidimensionaler Objekte auf einem Computerdisplay würden Stadtmodelle als Informationssysteme keinen Bestand haben können. Die Computergraphik (Abschnitt 3.6.1) nimmt in diesem Zusammenhang die Rolle ein, Methoden und Verfahren zur Darstellung dreidimensionaler Stadtmodelle bereitzustellen.

Der visuellen Wahrnehmung kommt eine besondere Rolle zu, da sie, wie Albertz anmerkt, zu etwas außergewöhnlichem in der Lage ist: *„Die visuelle Wahrnehmung vermag offenbar etwas zu leisten, was unsere sprachlichen und anderen Kommunikationsmöglichkeiten nicht erbringen können.“* (Albertz (1997) Seite 11)

Die Wahrnehmung des Raumes ist wesentlicher Bestandteil der Kartographie. Die Kenntnis der Abläufe der räumlichen Wahrnehmung des Menschen stellt die Grundlage für ein effektives Karten- oder Stadtmodelldesign dar. Erfahrungen wie Menschen wahrnehmen und insbesondere den „Raum“ wahrnehmen, helfen, eine adäquate Darstellung für kleine, mobile Displays zu erarbeiten. Unter dem Motto „vom Kleinen zum Großen“, kann die Kenntnis kognitiver Abläufe helfen, Design- und Visualisierungsvorschläge für virtuelle dreidimensionale Gebäude und in einem weiteren Schritt ganze Stadtmodelle abzuleiten (Abschnitt 7.2.3). In der Kartographie wird die Information über den Raum mittels eines Mediums (z.B. Karte, Bildschirm) an den Nutzer weitergegeben. Das Sekundärmodell (Abschnitt 2.2.2) dient in diesem Fall als Transportschicht der Informationen zum Nutzer. Der Nutzer nimmt somit in der Regel den Raum nicht direkt sondern indirekt über ein Medium wahr. Die beim Nutzer entstehende mentale Karte (Tertiärmodell, Abschnitt 2.2.2) ist abhängig vom Design also dem Sekundärmodell, welches eine schnelle Informationsaufnahme ermöglichen soll (Bunch und Lloyd, 2006). Aus diesem Grund ist es von besonderem Interesse die Grundzüge der Kognitionswissenschaften nicht unerwähnt zu lassen.

Innerhalb der Kognitionswissenschaften beschreibt die Wahrnehmung die Reizaufnahme durch die Sinnesorgane Augen, Ohren, Nase, Zunge und der Tastsinn (Schaer und Heuser, 2006). Die Kognition hingegen ist die Weiterverarbeitung der aufgenommenen Reize durch sogenannte kognitive Prozesse aus denen Wissen entsteht. Wahrnehmung und Kognition sind untrennbar mit einander verbunden.

Die Kognitionswissenschaften sind das Teilgebiet der Psychologie, welches sich mit dem Erkennen, der Reizaufnahme und der Reizverarbeitung auseinandersetzt. Die Forschung in diesem Feld verfolgt das Ziel *„Menschen ein effizienteres geistiges Arbeiten zu ermöglichen“* (Anderson (1989) Seite 17).

Das Wissen um die grundlegende Strukturierung der Wahrnehmungsprozesse unterstützt die Anwendung der Prinzipien des Kartendesigns (Hake et al., 2002, Slocum et al., 2005, Arnberger, 1970) für die dreidimensionale Darstellung. Die Kognitionswissenschaften

gewähren einen Blick auf alle Arten der Sinneswahrnehmung wie fühlen, hören und **sehen**. Zu ihrem Forschungsbereich gehören auch Erkenntnisse über das Lernen, die Aufmerksamkeit und das Sprachverstehen zu sammeln (Anderson, 1989, Sternberg, 2003, Neisser, 1979). Der für das Verstehen und „Begreifen“ einer Karte wichtigste Wahrnehmungskanal ist das Sehen (visuelle Wahrnehmung). Aus diesem Grund werden die anderen Wahrnehmungsarten, wie Hören und Fühlen, über die der Mensch verfügt an dieser Stelle außen vorgelassen.

Wie schon erwähnt spielt die visuelle Wahrnehmung bei der Informationsaufnahme aus Karten eine wichtige Rolle. In begrenzten Umfang lassen sich Landschaftsinformationen auch haptisch wahrnehmen, allerdings werden hierfür besondere dreidimensionale Karten (Rase, 2009) benötigt. Die allumfassende Wahrnehmung von Informationen ist in diesem Fall lediglich über den visuellen Kanal gewährleistet. Aus diesem Grund können bei der Verbreitung von Informationen die Konzepte der Kognitionswissenschaften und insbesondere die Kenntnis, wie der Mensch Informationen aufnimmt, erheblich dazu beitragen, diese Informationen den Bedürfnissen des Nutzers und den Anforderungen des visuellen Systems angepasst aufzubereiten.

Ein kurzer Abriss über die Entwicklung der Kognitionswissenschaften, im nächsten Abschnitt, soll das Verständnis für die Anwendung in der Stadtmodellvisualisierung wecken und Wege aufzeigen, wo die Erkenntnisse der Kognitionswissenschaften in der Kartographie Anwendung finden.

4.1.1 Entwicklung der Kognitionswissenschaften

Der Mensch denkt, fühlt, nimmt wahr. Dies tut er ohne darüber nachzudenken wie es geschieht, was für Voraussetzungen dafür vorhanden sein müssen und wie diese Prozesse ablaufen. Die Sinneseindrücke denken, fühlen und wahrnehmen sind inhärent vorhanden und erfolgen nach bestimmten Mustern. Diese Muster zu verstehen und zu ergründen ist Aufgabe der Kognitionswissenschaften. Die Informationswahrnehmung, das Lernen, Erinnern sowie die Verarbeitung der Informationen sind Gegenstand der Wissenschaftlichen Forschung in diesem Bereich (Sternberg, 2003).

Für den Bereich der Stadtmodellvisualisierung ist es von Belang, warum und wie ein Mensch verschiedene Informationen wahrnimmt und was den Unterschied hinsichtlich des Erinnerungsvermögens verschiedenartig dargestellter Informationen ausmacht.

Die Anfänge der Kognitionswissenschaften lassen sich aus der Entwicklung der Psychologie als Wissenschaft im Allgemeinen ableiten. Die Psychologie stützt sich nach Sternberg (2003) zum einen auf die Philosophie und zum anderen auf die Physiologie. Die Philosophie versucht Einblicke in allgemeine Aspekte menschlichen Denkens, der Natur und dem Zusammenspiel von Mensch und Natur zu erlangen, die Physiologie betrachtet die physikalischen, biochemischen und informationsverarbeitenden, also die lebenserhaltenden Funktionen von Lebewesen. Die Entwicklungen in den beiden Fachbereichen haben großen Einfluss auf die Psychologie ausgeübt. Die Wissenschaft ist auch heute noch von frühen Entwicklungen in der Philosophie geprägt, in vielen Bereichen wird Wissen durch logische Analyse (rational) sowie aus Beobachtungen und Experimenten (empirisch) erlangt. Dies schlägt sich darin nieder, dass Beobachtungen und Experimente ein theoretisches Gebäude entweder bestätigen oder widerlegen können, andersherum ist eine The-

orie ohne sie bestätigt zu haben ebenso nutzlos, wie Experimente und Beobachtungen ohne zugrundeliegende Theorie (Durrant, 1993, Robinson, 1995, Sternberg, 2003). Die Entwicklung der Kognitionswissenschaften hatte sich während des Mittelalters dem rein empirischen Ansatz verschrieben (Kemp, 1996). Im 19. Jahrhundert erreichte die Debatte um eine rationale oder empirische Sichtweise in den Wissenschaften und somit auch in der Philosophie ihren Höhepunkt. Kant (1724 – 1804) übte mit seinen Werken nicht nur erheblichen Einfluss auf die Philosophie sondern auch auf die Kognitionswissenschaften der 1950er bis 1960er Jahre aus. Er machte deutlich, dass sowohl Rationalisten als auch Empiriker einen entscheidenden Beitrag leisten, um die „Wahrheit“ zu ergründen. Er stellt beide Aspekte gegenüber, um Probleme und Widersprüche aufzuzeigen, um daraus ein neues Verständnis zu erlangen (Sternberg, 2003).

Der von Kant initiierte Dialektische-Prozess hat sich in der weiteren Entwicklung des Forschungsfeldes der Psychologie auf weitere Probleme übertragen bzw. erweitert. So stellte die Psychologie die Frage, wie man sich dem Verständnis des menschlichen Gehirns nähern soll. Zwei Denkrichtungen sind möglich, durch Ergründung der Struktur (Strukturalismus) oder durch das Studium der Funktion (Funktionalismus). Der Strukturalismus versucht die Struktur eines Ganzen zu ergründen, dies kann durch Introspektion¹¹ erfolgen. Der Prozess der Wahrnehmung wird z.B. in die Wahrnehmung geometrischer und nicht geometrischer Einheiten aufgegliedert. Ziel des Strukturalismus ist es „*Ordnung zu stiften bzw. Ordnung durchschaubar [zu] machen*“ (Fietz (1998), Seite 30). Im Fokus des Funktionalismus steht es die Funktionsweise des Gehirns (der Wahrnehmung) zu ergründen. Durch Beobachtung eines Stimulus und dem daraus resultierenden Verhalten soll auf die Funktionsweise geschlossen werden. Dieser Ansatz gleicht dem der Behavioristen zur Informationsverarbeitung, mit dem sich herausfinden lässt, welche Visualisierung gut funktioniert aber nicht warum sie erfolgreich ist, das Gehirn wird in diesem Fall als eine „Black-Box“ betrachtet (Swienty, 2008). Der kognitive Ansatz unterscheidet sich zu dem der Behavioristen dadurch, dass versucht wird, zu erklären warum ein Symbol, eine Karte effektiv ist. Beide Ansätze sind in der Kartographie vertreten, wobei sich der Forschungsschwerpunkt in die Richtung des kognitiven Ansatzes verschiebt, um eine Basis für die Einschätzung der Wirksamkeit noch nicht getesteter Visualisierungen zu erreichen (Slocum et al., 2005). Verschiedene Ansätze und Theorien müssen somit herhalten, um sich den Prozessen der Informationsverarbeitung zu nähern.

Der Informationsaufnahme über den visuellen Kanal (Sehen) untergliedert sich in verschiedene Schritte. Nach Gerrig und Zimbardo (2008) sind dies die Empfindung, die Wahrnehmung und die Klassifizierung (Abbildung 4-1).

Unter der Empfindung ist ein von einer Reizquelle ausgehender Stimulus, der in neuronale Aktivität umgewandelt wird, zu verstehen. Die Wahrnehmung beinhaltet die Gehirnaktivitäten und Prozesse, die aus dem Stimulus eine interne Repräsentation machen. Als letzter Schritt wird das Wahrgenommene in unterschiedliche Kategorien, wie z.B. rund oder eckig, bekannt oder unbekannt, eingeteilt. Die Klassifikation ist der Teilprozess, in den vorhandenes Wissen und bisher gelerntes mit einfließt (Neisser, 1979, Gerrig und Zimbardo, 2008). Abbildung 4-1 zeigt auch die in neueren Veröffentlichungen genannte Unterscheidung in „bottom-Up“ und „top-Down“ Theorien der menschlichen visuellen Wahrnehmung (Gerrig und Zimbardo, 2008, Swienty, 2008). Der Wahrnehmungsprozess kann sowohl nur durch

¹¹ Versuch der Analyse von Erlebtem durch Selbstbeobachtung, die nach Wilhelm Wundt (1832 – 1920) optimale Methode, um den Geist und den Verstand zu untersuchen.

äußere Reize (bottom-Up) als auch durch schon vorhandenes Wissen und gelerntes (top-Down) beeinflusst werden. Eine getrennte Betrachtung der beiden die Wahrnehmung beeinflussenden Ansätze ist nicht von Vorteil (Swienty, 2008).

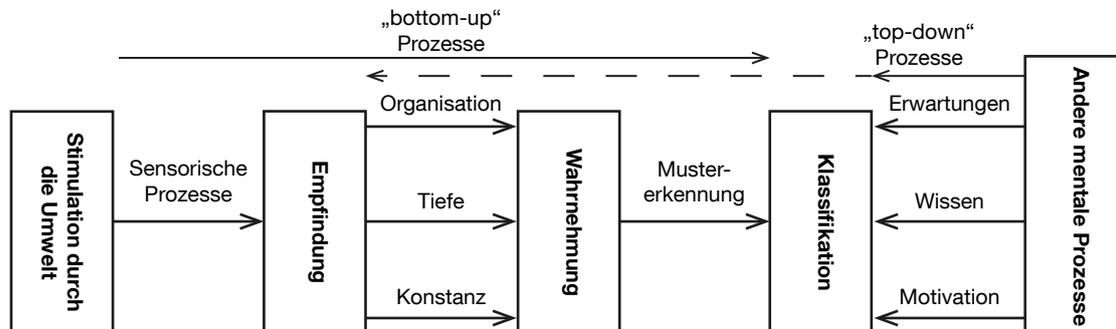


Abbildung 4-1: Der Wahrnehmungsprozess nach Gerrig und Zimbardo (2008) (Seite 110)

Wird bei der nicht-photorealisticen Stadtmodellldarstellung die dreidimensionale Darstellung und der nicht-photorealisticen Ansatz getrennt betrachtet finden sich Anknüpfungspunkte, an denen sich die nicht-photorealisticen Stadtmodellldarstellung in Abbildung 4-1 wiederfindet. Die dreidimensionale Darstellung findet sich im Übergang von der „Empfindung“ zur „Wahrnehmung“ wieder. Die Gestaltgesetze (Abschnitt 4.2.1) haben ihren Anteil an der Organisation der Darstellung. Die Tiefe wird dem Betrachter über Tiefenhinweise (Abschnitt 4.2.2) vermittelt und Wahrnehmungskonstanzen spielen eine entscheidende Rolle bei der Abschätzung von Größenunterschieden in dreidimensionalen Darstellungen. Der nicht-photorealisticen Ansatz wiederum wirkt unterstützend für die „Klassifikation“ der Informationen, sodass gepaart mit den Erwartungen, dem schon vorhandenen Wissen und der Motivation eine solche Darstellung zu betrachten, die Informationen gezielt übermittelt werden können, um neues Wissen beim Nutzer zu generieren. Somit verdeutlicht die nicht-photorealisticen Darstellung sehr deutlich, wie „bottom-up“ und „top-down“ gesteuerte Wahrnehmungsprozesse interagieren und bei der Beantwortung der Forschungsfragen aus Abschnitt 1.3 hilfreich sein können.

4.1.2 Kognitive Forschung und Kartographie

Die kognitive Forschung wird an vielen Stellen in der Kartographie als wichtig erachtet. Durch Experimente wie Nutzerbefragungen kann ermittelt werden, ob ein Kartendesign die Anforderungen der Nutzer erfüllt oder eben nicht. Dies würde dem behavioristischen Ansatz entsprechen und keine Antworten darüber liefern, wieso ein Design besonders gut funktioniert und ein anderes nicht. Kennt man die Wahrnehmungsstrategien, kann schon von vornherein abgeschätzt werden, ob die zu transportierende Information auch bei einem Nutzer ankommt. Anmerkungen zur Wichtigkeit kognitiver Ansätze in der Kartographie finden sich in Slocum et al. (2001). Montello (2002) beschreibt wie die Integration kognitiver Ansätze in die kartographischen Wissenschaften vollzogen werden kann. Er führt erfolgversprechende theoretische und empirische Ansätze an. Lobben et al. (2004) widmen sich der Untersuchung, wie Navigationskarten aus der Perspektive der Kogni-

tionswissenschaften wahrgenommen und benutzt werden. Während der Durchführung verschiedener Navigationsaufgaben werden mit der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRI¹²) die beteiligten Gehirnregionen sichtbar gemacht. (Lobben et al., 2005). In ihrer Übersichtsarbeit zur Entwicklung der kartographischen Forschung führen Chinchor et al. (2005) an, die bisherige Forschung um kognitive Bestandteile zu erweitern, damit der Nutzer in der Informationsaufnahme und Entscheidungsfindung unterstützt wird. Eine Aufstellung, welche graphischen Variablen in welchen Gehirnarealen verarbeitet werden haben Swienty et al. (2007) zusammengestellt. Hierzu haben sie kartographische wie auch neurowissenschaftliche Fachaufsätze evaluiert. In der Tabelle 4-1 findet sich eine Zusammenstellung der graphischen Variablen, deren Verarbeitung in bestimmten Gehirnregionen erfolgt. Die Tabelle umfasst solche Variablen, die geeignet erscheinen, Aufmerksamkeit zu steuern und zu leiten (Wolfe und Horowitz, 2004). Als weiteres Merkmal sind die Variablen gekennzeichnet, die im Dreidimensionalen Träger von Tiefeninformationen sein können (vgl. hierzu Gerrig und Zimbardo (2008) sowie Abschnitt 4.2).

Tabelle 4-1: graphische Variablen zur Steuerung der Aufmerksamkeit, als Träger von Tiefeninformationen und für die Anwendung auf Volumen Objekte

graphischeVariable	Variablen für die Aufmerksamkeitssteuerung aus Swienty et al. 2007	Träger von Tiefeninformation	Eignung für Volumenobjekte
Kontur	•		
Form	•	•	•
Farbe	•		•
Auflösung	•		
Schärfe	•	•	
Transparenz	•		•
Sättigung	•	•	
Größe	•	•	•
Orientierung	•		
Kontrast	•	•	•
Geschwindigkeit	•		
Beschleunigung	•		
Disparity of spatial depth	•		
Flimmern	•		
Bewegung (linear, rotierend etc.)	•		

Bei der Betrachtung graphischer Variablen insbesondere für die Darstellung von Objekten in Karten und auch für die nicht-photorealistische Visualisierung von Stadtmodellen, muss berücksichtigt werden, dass jede für sich allein genommen den Nutzer nicht auf eine bestimmte Information lenkt. Es muss durch Anwendung der graphischen Variablen eine

¹² functional Magnetic Resonance Imaging

„Andersartigkeit“ zwischen Objekten erreicht werden. Die Aufmerksamkeitsteuerung durch Andersartigkeit wird von Buziek (2001) eingeführt und am Beispiel von Graphik vs. Akustik verdeutlicht. Somit entsteht auch in der Stadtmodellvisualisierung erst durch die Variation einer graphischen Variablen oder durch das Zusammenwirken mehrerer graphischer Variablen eine Andersartigkeit zwischen den Objekten, die es vermag, den Blick des Nutzers bewusst zu lenken (Abbildung 4-2). Die Gestaltgesetze, in dem Fall der Abbildung 4-2 das Gesetz der Ähnlichkeit (Abschnitt 4.2.1), unterstützen die Wahrnehmung des Vierecks gegenüber den übrigen Punkten.



Abbildung 4-2: Variation der graphischen Variablen Form und Hinzunahme der Variablen Farbe, um eine „Andersartigkeit zu erreichen

Die Tabelle 4-1 unterstreicht die Eignung der graphischen Variablen, um die Aufmerksamkeit des Kartennutzers zu lenken. Die Variablen, die auch gleichzeitig Träger von Tiefeninformation für die dreidimensionale Darstellung sind, müssen mit Bedacht zur direkten Kodierung thematischer oder semantischer Informationen ausgewählt werden.

Wieder andere lassen sich auf Volumenobjekte nur bedingt anwenden, da es durch ihre Anwendung zu einer Deformation des ursprünglichen Körpers (Objektes) kommen würde. An dieser Stelle soll die Eigenbewegung von Objekten nicht betrachtet werden. Bewegung entsteht in der Stadtmodellvisualisierung interaktiv durch den Nutzer, der sich virtuell in der Landschaft bewegt. Zusätzliche Bewegung innerhalb der Szene, sei es Flimmern oder andere Bewegungsarten, sind an dieser Stelle nicht zielführend. Von daher werden die Variablen Flimmern, Bewegung, Geschwindigkeit und Beschleunigung in dieser Arbeit zur Hervorhebung von Objekten nicht weiter betrachtet.

4.2 Visuelle Wahrnehmung und Gestaltgesetze

Die Wahrnehmung insbesondere über den visuellen Kanal spielt eine entscheidende Rolle in der Informationsverarbeitung durch den Menschen. Die Kartographie arbeitet mit visuell dargebotenen Informationen, die über diesen Kanal aufgenommen und verarbeitet werden. Der entscheidende Beitrag zum Informationsgewinn erfolgt somit über den visuellen Kanal (Gerrig und Zimbardo, 2008). Die weiteren Kanäle, über die Informationen aufgenommen werden seien in dieser Arbeit außen vorgelassen. Erste Ansätze die auditive und die visuelle Wahrnehmung in der Kartographie zu verbinden finden sich in der Literatur (Kornfeld et al., 2011).

Die Gestaltgesetze geben Aufschluss darüber wie Informationen aufbereitet werden sollten damit sie effektiv und effizient vom menschlichen visuellen System wahrgenommen werden kann. Weiter geben sie Hinweise, wie Informationen im kartographischen Design- und Kommunikationsprozess strukturiert und dargeboten werden sollten.

4.2.1 Gestaltgesetze

Damit eine Karte interpretiert werden kann muss sie durch einen Nutzer wahrgenommen werden. Wahrnehmung beinhaltet die Aufnahme von Informationen, die in Form von Stimuli vorliegen, die Verarbeitung dieser Stimuli erfolgt durch Kognitive Prozesse. Die Wahrnehmung wird in Prozesse der Aufmerksamkeit und der Organisation untergliedert (Gerrig und Zimbardo, 2008). Die Organisationsprozesse sind unter der Gestalttheorie zusammengefasst. Die Gestalttheorie besagt, dass die menschliche Wahrnehmung von der Organisation der Objekte abhängt, die in Regeln zusammengefasst sind.

Damit das menschliche visuelle System ein Objekt wahrnimmt muss dieses Objekt die Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Dies geschieht zum einen über die **zielgesteuerte Wahl** und die **reizinduzierte Vereinnahmung** (Gerrig und Zimbardo, 2008). Betrachtet ein Nutzer Objekte weil sie seinen Bedürfnissen oder zur Lösung einer bestimmten Aufgabe beitragen können, handelt es sich um eine zielgesteuerte Wahl. Er lenkt seine Aufmerksamkeit bewusst auf Objekte, die ihn in der Erledigung seiner Aufgaben unterstützen können. Eine reizinduzierte Vereinnahmung tritt dann auf, wenn der Nutzer ein Objekt unabhängig von den eigenen Bedürfnissen oder losgelöst von einer bestimmten Aufgabe betrachtet. In diesem Fall wird die Aufmerksamkeit des Nutzers unabhängig von seiner ursprünglichen Aufgabe auf ein bestimmtes Objekt gelenkt. Die reizinduzierte Vereinnahmung durch hinzukommende, blinkende oder flackernde Objekte scheint der zielgesteuerten Wahl überlegen zu sein (Theeuwes et al., 1998). Dies bedeutet für den kartographischen Designprozess, dass insbesondere bei interaktiven digitalen Darstellungen die Aufmerksamkeit des Nutzers bewusst gelenkt werden kann. Das menschliche visuelle System ist besonders empfindlich für neu hinzukommende Objekte (Yantis und Jonides, 1996). Fügt man den Objekten auch ein „Verschwinden“ hinzu erhält man blinkende oder flimmernde Objekte, deren Frequenz sich in den von Buziek (2001) vorgeschlagenen Bereichen bewegen sollte.

Im Folgenden werden die, für die kartographische Visualisierung wichtige, Figur-Grund-Unterscheidung und die Gestaltgesetze kurz vorgestellt, um einen Eindruck zu erhalten mit welchen Mitteln die menschliche Wahrnehmung und kognitiven Prozesse beeinflusst werden können.



Abbildung 4-3: Beispiel zur Figur-Grund-Unterscheidung aus Gerrig und Zimbardo (2008)

Ist die Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Bereich gelenkt, orientiert sich die Wahrnehmung an der Organisation der Objekte. Zu Beginn des Wahrnehmungsprozesses wird entschieden, was als Figur und was als Hintergrund wahrgenommen wird. Eine klare Diffe-

renzung in Vorder- und Hintergrund ist auch für die Kartographie von besonderer Wichtigkeit (vgl. Abschnitt 2.3.3). Abbildung 4-3 verdeutlicht die Figur-Grund-Unterscheidung, zum einen kann es sich um eine Vase handeln (weiße Figur auf schwarzem Grund) und zum anderen um sich anschauende Gesichter (schwarze Figur vor weißem Grund).

Die Figur wird von der Organisation der einzelnen sie bildenden Elemente beeinflusst. Aus der Gestaltpsychologie um ihren Begründer Max Wertheimer (1880–1943) sind die Gestaltgesetze hervorgegangen, welche die Organisation von Elementen zu Objekten und Figuren beschreiben (Wertheimer, 1923, Wertheimer, 1925). Die Gestaltgesetze zeigen, dass eine Gesamtkomposition sich von der Summe ihrer einzelnen Teile unterscheidet.

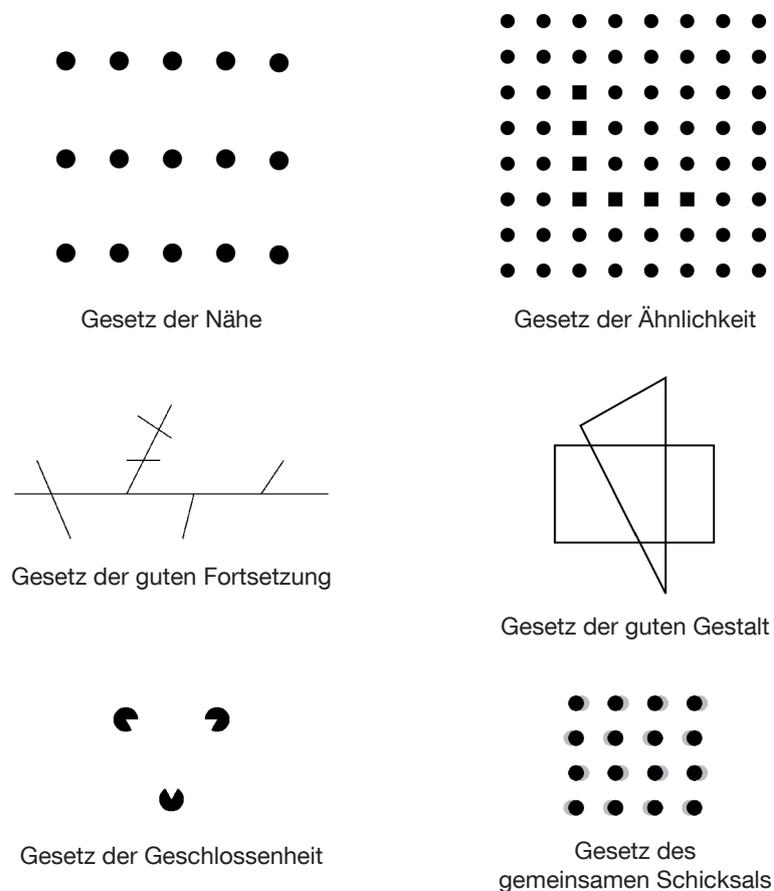


Abbildung 4-4: Die Gestaltgesetze

Die Gesetze, welche die Gestaltpsychologie zusammengestellt hat sind das Gesetz der Nähe, das Gesetz der Ähnlichkeit, das Gesetz der guten Fortsetzung, das Gesetz der guten Gestalt, das Gesetz der Geschlossenheit und das Gesetz des gemeinsamen Schicksals (Abbildung 4-4).

- **Das Gesetz der Nähe:** Dieses Gesetz beschreibt, dass Objekte die nahe beieinander liegen eher als eine Gruppe wahrgenommen werden als solche mit größerem Abstand.

- **Das Gesetz der Ähnlichkeit:** Objekte, die in ihrer geometrischen Gestalt ähnlich sind werden eher als eine Gruppe wahrgenommen also solche die in ihrer geometrischen Gestalt differieren.
- **Das Gesetz der guten Fortsetzung:** Linienhafte Objekte werden als durchgehend wahrgenommen, selbst wenn sie mehrfach unterbrochen sind oder durch andere Linien gekreuzt werden.
- **Gesetz der guten Gestalt:** komplizierte Objekte werden in einfach, sich gut zu merkende und schon bekannte Formen zerlegt.
- **Gesetz der Geschlossenheit:** Enthalten Objekte Lücken, so werden diese automatisch geschlossen und das Objekt wird als Ganzes wahrgenommen.
- **Gesetz des gemeinsamen Schicksals:** bewegen sich Objekte in dieselbe Richtung werden sie als eine Gruppe wahrgenommen. Die Punkte werden zeilenweise und nicht spaltenweise wahrgenommen, da sie sich zeilenweise scheinbar in dieselbe Richtung bewegen (Abbildung 4-4).

In den 1990er Jahren fand Palmer noch das **Gesetz der gemeinsamen Region**, das **Gesetz der Gleichzeitigkeit** und das **Gesetz der verbundenen Elemente**. Diese drei Gesetze sind ebenfalls den ursprünglichen Gestaltgesetzen nach Wertheimer hinzuzufügen (Palmer, 1992, Palmer und Rock, 1994, Palmer et al., 1996, Palmer, 1999).

Das Gesetz der gemeinsamen Region besagt, dass Elemente die in örtlich begrenzten Bereichen auftreten als zusammengehörig empfunden werden. Das Gesetz der Gleichzeitigkeit ist ähnlich dem des gemeinsamen Schicksals. Beim ersteren erfolgt die Bewegung gleichzeitig aber Richtungsunabhängig beim letzteren erfolgt die Bewegung in dieselbe Richtung aber zeitunabhängig. Das Gesetz der verbundenen Elemente besagt, dass verbundene Elemente als eine Einheit wahrgenommen werden.

4.2.2 Räumliche Wahrnehmung

Betrachtet man die Erzeugnisse der traditionellen Kartographie im Allgemeinen handelt es sich in erster Linie um zweidimensionale Abbildungen der Realität in einer Ebene. Räumlichkeit im Sinne von Tiefe im Raum spielt in diesem Bereich eine untergeordnete Rolle. Kartenverwandten Darstellungen wohnt in vielen Fällen eine Tiefe inne, mit der sie dem Leser eine räumliche Tiefe suggerieren, um Sachverhalte darzustellen, die man nicht in einer Ebene (zweidimensional) darstellen kann.

Bewegt sich der Mensch in der Natur, ist er auf die Wahrnehmung räumlicher Tiefe angewiesen. Hierzu nehmen die beiden Augen des Menschen zwei leicht unterschiedliche Bilder der Realität (binokulare Disparität) wahr und verknüpfen sie zu einem Gesamteindruck. Das menschliche visuelle System ist in der Lage aus der Bewegung heraus räumliche Tiefe wahrzunehmen (relative Bewegungsparallaxe). Der Abstand der Real Welt Objekte ergibt bei Bewegung eine relative Änderung der Abbildungen auf der Netzhaut. Aus diesen Informationen wird dann ebenfalls die Tiefe abgeleitet (Gerrig und Zimbardo, 2008). Diese Art der Tiefenwahrnehmung basiert auf den **binokularen** und den **bewegungsinduzierten Tiefenkriterien**. Die Wahrnehmung räumlicher Tiefe erlaubt es dem Menschen sich bewusst Gegenständen zu nähern oder ihnen fernzubleiben. Der Bereich, in dem der Mensch dreidimensional wahrnehmen kann, erstreckt sich auf einen Bereich von 20° zu beiden

Seiten der Sichtachse, Objekte die außerhalb dieses Bereiches liegen werden nicht mehr dreidimensional wahrgenommen. Für Objekte die über 60° bis 80° außerhalb der Sichtachse liegen müssen die Augen, der Kopf oder der ganze Körper bewegt werden um diese zu sehen (May und Badcock, 2002).

Sieht der Mensch nur mit einem Auge kann er auch Tiefe wahrnehmen, in diesem Fall nutzt er die **monokularen** Tiefenkriterien (Bildtiefenkriterien). Diese Art der Tiefenkriterien treten dann auf, wenn dreidimensionale Objekte in die Ebene abgebildet werden sollen. Monokulare Tiefenkriterien findet man in Bildern und Gemälden, wenn ein Eindruck von Tiefe erzeugt werden soll.

Für den Menschen sind dreidimensionale Darstellungen nur als solche wahrnehmbar, wenn sie Hinweise (Stimuli) enthalten, die sie als dreidimensional wahrnehmbar ausweisen (Kraak, 1998). Eine Abbildung ist somit als dreidimensional „empfindbar“ wenn sie verschiedene Tiefenkriterien enthält, hierzu gehören nach May und Badcock (2002), Gerrig und Zimbardo (2008) und Kumke (2011) die Perspektive, Verdeckungen, Licht und Schatten, die Objekthöhenlage sowie die Luftperspektive.

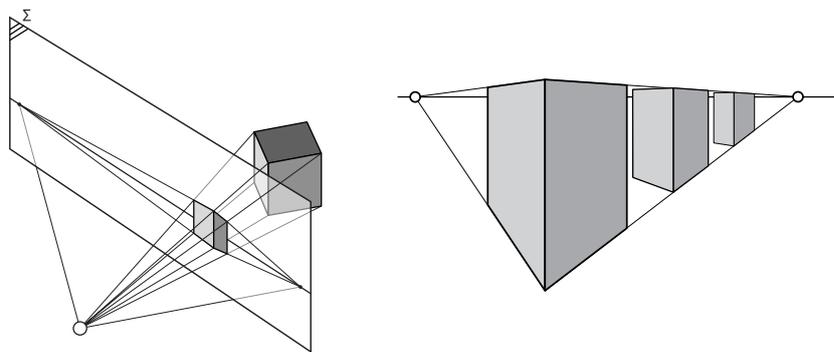


Abbildung 4-5: Beispielhafte Darstellung für die Linearperspektive aus Kumke (2011)

Die Perspektive gehört zu den wichtigsten Merkmalen, die beim Nutzer einen dreidimensionalen oder Tiefeneindruck hinterlassen. Die Linearperspektive gilt als die Perspektive mit dem größten Einfluss, da parallele Linien zu einem gemeinsamen Fluchtpunkt zusammenlaufen und die Größe der Objekte stetig abnimmt je mehr die Entfernung vom virtuellen Standpunkt zunimmt (Abbildung 4-5).

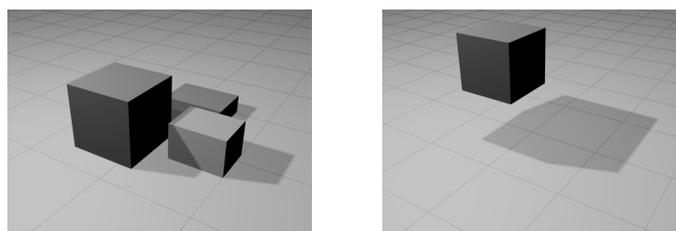


Abbildung 4-6: Beispiele für den Tiefeneindruck durch gegenseitige Verdeckung von Objekten rechts, und durch Schattenwurf links aus Kumke (2011).

Die räumliche Anordnung von Objekten kann durch die gegenseitige Verdeckung der Objekte verifiziert werden und gibt Auskunft darüber, ob ein Objekt vor einem anderen platziert ist oder nicht (Abbildung 4-6). Sie unterstützt die Tiefenwahrnehmung und gehört zu dem, was nach Neisser (1979) in der Kognitionsforschung auch als Vorwissen bezeichnet wird. Dieses Vorwissen unterstützt auch die menschliche Wahrnehmung, wenn aufgrund eines ungünstigen Basis-Höhen-Verhältnisses (Kraus, 1996) eine Tiefendifferenzierung von Objekten nicht mehr möglich ist.

Eine Lichtquelle und ein Objekt erzeugen zusammen einen Schatten. Durch dieses Zusammenspiel von Licht, Objekt und geworfenem Schatten entnimmt der Mensch Hinweise über die Dreidimensionalität des Objektes. Für die dreidimensionale Wahrnehmung ist der Körperschatten und der Schlagschatten zu unterscheiden (Kumke, 2011). Der Körperschatten der Flächen, die zur Lichtquelle ausgerichtet sind, ist heller und solche die ihr abgewandt erscheinen dunkler. Er bewirkt, dass das Objekt als Volumenobjekt wahrgenommen wird. Der Schlagschatten eines Objektes ist der Schatten, den ein beleuchtetes Objekt auf benachbarte Flächen wirft. Er dient in erster Linie den räumlichen Bezug zu Flächen und anderen Objekten zu definieren (Abbildung 4-6).

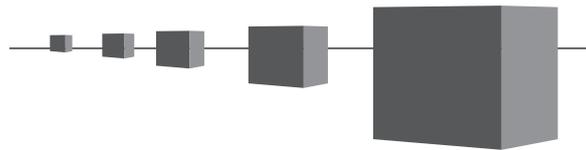


Abbildung 4-7: Objekthöhenlage gegenüber dem Horizont aus Kumke 2011

Die Objekthöhenlage, die auch als relative Größe bezeichnet wird, ist ein weiteres, die Tiefenwahrnehmung unterstützendes Merkmal. Je näher ein Objekt zum virtuellen Betrachter platziert ist desto größer wird es dargestellt. Andersrum werden kleine Objekte als weiter vom Betrachter entfernt wahrgenommen (Abbildung 4-7).



Abbildung 4-8: Das Phänomen der Luftperspektive in der Realität: Blaustrübung der weiter entfernt liegenden Gipfelreihen (©Friedrich Böhringer (2010), Wikipedia – die freie Enzyklopädie¹³)

Unter der Luftperspektive ist der Effekt zu verstehen, der auftritt, wenn Objekte weit von einem Betrachter entfernt sind und sich deren Umrisse teilweise nur noch schwer gegen

¹³ http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Zimba_Panorama.jpg&filetimestamp=20100805214111
(24.05.2012)

das Himmelslicht abzeichnen (Abbildung 4-8). Für kartographischen Darstellungen werden hierbei die satten Farben der naheliegenden Objekte mit zunehmender Entfernung durch eine Blaurübung abgeschwächt (Bollmann und Koch, 2001). Die dunklen Farben werden somit aufgehellt, wobei sehr helle Farben allerdings leicht getrübt werden (Imhof, 1965). Die Luftperspektive unterstützt die Tiefenwahrnehmung und erleichtert es Entfernungsunterschiede abzuschätzen. Der Effekt des „Dunstes“ in kartographischen Darstellungen ist mit denen der Luftperspektive zu vergleichen. Den Dunst zählt Häberling (2003) zu den Gestaltungsvariablen für dreidimensionale Karten. Zusammengefasst unterstützt der Dunst die Tiefenwirkung, kann aber auch den Modellcharakter stören.

Als weiteres Tiefenkriterium, welches das menschliche Visuelle System nutzt, um räumliche Tiefe wahrzunehmen, ist der Texturgradient. Die Dichte einer Textur steigt mit zunehmender Entfernung an. Dieses Tiefenkriterium ist durch die Objekthöhenlage beeinflusst, da weiter entfernte Quadrate nicht nur dichter zusammenrücken sondern auch kleiner dargestellt werden (Abbildung 4-9).

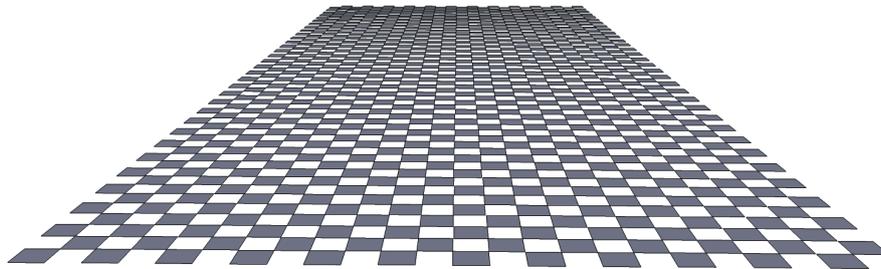


Abbildung 4-9: Der Texturgradient als Tiefenkriterium. Die Dichte der Textur nimmt mit steigender Entfernung vom Betrachter aus zu.

Bewegung im Raum wird durch Veränderung hervorgerufen. Dies kann zum einen durch den monokularen Tiefenhinweis der Größenänderung in der Darstellung simuliert werden und zum anderen durch unterschiedliche Abbildungen auf der Retina (binokular) (May und Badcock, 2002). Bewegung in interaktiven dreidimensionalen Darstellungen wird durch Veränderungen an den Seiten des Bildschirms (der Darstellungsfläche) induziert. Da das menschliche visuelle System besonders empfindlich für die Wahrnehmung schneller Bewegungen in der Peripherie des Gesichtsfeldes ist, können diese Veränderungen ablenkend oder störend auf den Betrachter wirken (Anderson, 1989).

Ein weiteres Merkmal des menschlichen visuellen Systems stellt die Wahrnehmungskonstanz dar. Sie erlaubt es Objekte als invariant, konstant und stabil anzusehen, selbst wenn der Standpunkt geändert wird (Gerrig und Zimbardo, 2008). Eine der Aufgaben der Wahrnehmung besteht darin unveränderliche Eigenschaften von Objekten zu erfassen. Bei der Wahrnehmungskonstanz werden die Größen-, Form- und Helligkeitskonstanz unterschieden.

Die Wahrnehmung der Variablen Größe stellt eine besondere Herausforderung für das menschliche visuelle System dar. Insbesondere der Vergleich von gleichartigen, verschiedenen im Raum positionierten unterschiedlich hohen Objekten stellte sich als schwierig dar (Bleisch et al., 2008). Der Größen Vergleich von realen und virtuellen Objekten kann durch

ein dreidimensionales Rendering der Szene unterstützt werden. Es hat sich ebenfalls gezeigt, dass der Größenvergleich in Szenen, in denen sich weitere Objekte befanden, leichter erscheint als bei einer nahezu leeren Szene (Luo et al., 2007).

4.2.3 Visuelle Forschung

Für das Design kartographischer Produkte werden die graphischen Variablen hergenommen und in geeigneter Weise kombiniert und zu einem Ganzen zusammengesetzt (Abschnitt 2.3.2). Eine weitere Rolle spielen in der traditionellen Kartographie die Gestaltungsgesetze (Abschnitt 4.2.1), insbesondere bei der Gestaltung thematischer Karten. Beide Elemente (graphische Variablen & Gestaltungsgesetze) finden sich auch im Grafik-Design wieder. Die Kartographie und das Grafik-Design unterscheiden sich insbesondere in den Freiheitsgraden bei der Gestaltung. Im Designprozess einer Grafik ist der Ersteller nicht an Vorgaben hinsichtlich der Platzierung bestimmter Elemente gebunden. In der Kartographie ist der Kartograph immer an die richtige räumliche Lage der Objekte gebunden, d.h. er kann sie nicht dem Zweck dienlich beliebig im Raum positionieren. Der kartographische Designprozess genießt somit nicht so viele Freiheitsgrade wie der Prozess im Grafik-Design.

Die visuelle Forschung bezeichnet in diesem Zusammenhang das wissenschaftlich methodische Vorgehen im Bereich des Grafik-Designs (Noble und Bestley, 2005). Das Grafik-Design ist sehr Usability (Abschnitt 5.2) orientiert. Der Zweck eines grafischen Designs wie auch der Nutzen, den eine Grafik erzielen soll, steht deutlich mehr im Vordergrund. Nobel und Bestley (2005) definieren die „visuelle Kommunikation als Problemlösungsprozess“ (Seite 20), der sich in vier Phasen teilt, die Definitionsphase, die Divergenzphase, die Phase der Transformation und die Phase der Konvergenz. In die Definitionsphase gehören die Gliederung wie auch die Definition der Ziele (Zweck siehe Abschnitt 6.1) einer zu erstellenden Grafik. Die sich anschließende Phase der Divergenz beinhaltet die Analyse der Umgebung, in der die Grafik zum Einsatz kommen soll, sowie das visuelle Auftreten konkurrierender Produkte. In der Phase der Transformation werden aus den Ergebnissen der vorhergehenden Phasen erste Entwürfe generiert und zielgruppenorientierte Usability-Untersuchungen angestoßen. Die letzte Phase der Konvergenz extrahiert die relevanten Informationen aus den Entwürfen und den Usability-Untersuchungen und soll dann zu einem erfolgreichen Design führen. Die Phasen des Graphikdesign sind denen aus dem Usability-Zyklus (Abbildung 5-3) ähnlich, sie sollen dazu beitragen ein ansprechendes und wirkungsvolles Design zu entwickeln.

Zu den wichtigen Gestaltungselementen im Grafik-Design zählt die Formensprache mit einem konsequenten Farbschema. In der Kartographie gesellen sich zur Formensprache noch eine Zeichensprache und eine Farbsprache, die insbesondere auf Assoziationen beruht (Hake et al., 2002). Die Zeichensprache über Icons ist ein weiterer wichtiger Bestandteil in der Kartographie, der insbesondere der Informationsverdichtung dient und besondere relevante Elemente (abhängig von einer eventuellen Thematik) hervorheben kann (Angsüsser, 2011).

Dreidimensionale Stadtmodelle stellen, wie in den vorherigen Kapiteln erläutert, besondere Anforderungen an das visuelle Design, da neben der Lageinformation sowie weiterer die Real-Welt-Objekte beschreibender Semantik die Tiefeninformation mit dargestellt werden muss, um den Eindruck der Dreidimensionalität zu wahren.

Den größten Nutzen aus dem Grafik-Design für die Darstellung von dreidimensionalen Stadtmodellen gezogen werden kann sind weitere Aspekte zur Verwendung der Variablen Farbe.

4.2.3.1,„Anwendung von Farbe“ oder „Farbe an sich“

„Das Phänomen Farbe ist also in sich vielfach gegliedert und trotzdem von ihrer physikalischen Erscheinung bis zur sinnlich-sittlichen Wirkung eine Einheit.“ (Schiede (1970) Seite 247)

Physiker, Physiologen, Psychologen und Künstler haben verschiedene Sichtweisen auf die Farbe. Der Physiker versucht z.B. die Farbe als inhärentes Merkmal des Lichtes zu messen, der Psychologe die emotionale Wirkung, die Farbe im Menschen auslösen kann (Schiede, 1970). Auch die Kartographie bedient sich, wie schon erwähnt, assoziativer Merkmale, um Farben eine Bedeutung zu geben. Hierdurch kann der Mensch aus seinem Erfahrungsschatz schöpfen und ordnet den Farben unterschiedliche Eigenschaften zu (vgl. hierzu Abbildung 4-1). Eine Zusammenstellung von Assoziationen die mit verschiedenen Farben verbunden werden finden sich im Anhang Farbassoziationen (Seite 159). Neben den Assoziationen können Farben auch in verschiedenen Kontexten unterschiedliche Wirkungen entfalten.

Sternad (2012) gibt noch Hinweise, wie sich die Assoziationen verändern, wenn die Farben mit anderen Farben, insbesondere Schwarz oder Weiß gemischt werden. So wird z.B. die Wirkung von Rot durch Hinzufügen eines Anteiles Schwarz noch verstärkt, während ein Anteil Weiß die Wirkung des Rots abmildert.

Betrachtet man die Farben auf einem Farbkreis (vgl. hierzu den Farbkreis im Anhang Seite 159) bilden gegenüberliegende Farben eine dynamische Polarität (Schiede, 1970). So bilden die Farbpaarungen

- **Blau - Rot** den größten Buntheitsgegensatz
- **Gelb - Blau** den größten Farbhellegegensatz
- **Rot - Grün** die größte Energiespannung.

Die Komplementärfarben Gelb - Blau lassen sich über die Farbe Grün verbinden und Blau - Rot lassen sich mit Violett verbinden, einzig von Rot zu Grün findet sich keine Farbe die den Übergang symbolisiert (Schiede, 1970).

Die Farbwahl in Karten ist oftmals durch Signaturenkataloge vorgegeben, so dass dem Nutzer wenig Spielraum für die Gestaltung bleibt. Bei Web-Mapping Anwendung stellt sich dies andersherum dar, dem Nutzer werden viele Freiheiten hinsichtlich der Kartengestaltung und insbesondere der Farbwahl eröffnet. Christoph (2009) fordert, den Nutzer in diesem Designschnitt mehr zu unterstützen, in dem ihm insbesondere bei der Farbwahl kartographisch sinnvolle Vorschläge unterbreitet werden. Diesen Aspekt hat Christoph (2009) aufgegriffen und die dem Nutzer zur Verfügung stehenden Farbpaletten an der Farbgebung künstlerischer Bilder wie denen von Matisse, van Gogh und Klimt orientiert. Wie Farbharmonie erzeugt werden kann lässt sich ebenso aus Bildern bekannter Maler ableiten, in dem deren Ansätze analysiert und in den Bereich der Kartographie übertragen werden (Friedmannová, 2009).

4.2.3.2 Repräsentation von Farbe

Für die Gestaltung mit Farben bedarf es geeigneter Farbmodelle die den Anwender in der Auswahl und bei der Spezifikation von Farben unterstützen. Viele Farbmodelle spezifizieren eine Farbe über drei Werte, die einen dreidimensionalen Farbraum aufspannen. In Farbräumen unterscheidet man Primär- und Sekundärfarben. Primärfarben sind die Farben aus denen sich alle anderen Farben des Modells ableiten lassen. Sekundärfarben sind die Farben, die sich durch Mischung von jeweils zwei Primärfarben ergeben (Bender und Brill, 2006).

Für die Repräsentation von Farben auf dem Bildschirm wird das RGB-Farbmodell verwendet. Dieses besitzt als Primärfarben die Farben Rot, Grün und Blau, die sogenannten Lichtfarben. Weitere Farben lassen sich über eine gewichtete Summe aus den Grundfarben durch additive Überlagerung beschreiben. Werden die Farben Rot, Grün und Blau zu gleichen Teilen angewandt erhält man die Farbe Weiß. Neben dem RGB-Farbmodell findet sich noch das CYM-Farbmodell, ein subtraktives Farbmodell, welches hauptsächlich im Druck zum Einsatz kommt. Werden hier die Farben Cyan, Magenta, und Yellow, die Körperfarben, zu gleichen Teilen zusammengefügt erhält man theoretisch ein Schwarz. Da dies in der Praxis nicht der Fall ist hat man dem Modell eine weitere Farbe hinzugefügt, das Schwarz und kommt somit zum gebräuchlichen CMYK-Farbmodell. Dem RGB- wie auch dem CMYK-Farbmodell ist zu eigen, dass es schwierig ist, für eine geringe Änderung der Farbe, der Helligkeit etc. ein entsprechendes RGB- oder CMYK-Farbtupel zu finden, da die Farbanteile nicht proportional sind (Bender und Brill, 2006, Runk, 2011).

Die Farbmodelle HSV und HLS sind wahrnehmungsorientierte Modelle, die eine intuitive Farbwahl durch den Nutzer unterstützen. HSV steht für Hue, Saturation und Value. Über die Variable Hue wird der Farbton bestimmt, die Variable Value beschreibt die Helligkeit der Farbe und Saturation bestimmt den Weißanteil in der Farbe. Das HLS-Modell beschreibt eine Farbe über Hue für den Farbton, Saturation für den Weißanteil in der Farbe und Lightness für die Helligkeit (Bender und Brill, 2006).

Die Farbmodelle RGB und CMYK spannen einen dreidimensionalen Farbraum auf ihr größter Nachteil ist, das die Farbwahl nicht intuitiv möglich ist. Das RGB Farbmodell ist das gebräuchliche Farbmodell für computergraphische Anwendungen (Apetri, 2008). Die Modelle HLS und HSV unterstützen die intuitive Farbwahl und sind wahrnehmungsorientiert. Alle Modelle sind auch wenn sie wahrnehmungsorientiert angelegt sind hinsichtlich ihrer Farbwahrnehmung nicht linear, eine identische Parameteränderung an unterschiedlichen Stellen ruft unterschiedliche Wirkungen hervor.

4.2.3.3 Anwendung von Farbe für nicht-photorealistische Darstellungen

Die Farbe spielt insbesondere aus ihrer assoziativen Wirkung heraus eine entscheidende Rolle im Kartendesign. Wird die Funktion der Farbe auch im Stadtmodelldesign berücksichtigt, lassen sich Stadtmodelle visualisieren, die dem Nutzer einen Mehrwert bringen können. Insbesondere der Nicht-Photorealismus birgt hier die Potentiale, die Stadtmodellvisualisierung einen entscheidenden Fortschritt machen zu lassen. Die abstrahierende Art des Nicht-Photorealismus öffnet Spielräume, in der Farbgestaltung und der Anwendung assoziativer Farben, die im Photorealismus nicht vorhanden sind. Die Orientierung der

Darstellung an der Wirklichkeit bindet die Variabilität, da die Farbe als fixiert anzusehen ist. Bricht man dieses Verhältnis auf, kann zum einen die Farbwahl der Situation oder einem Thema entsprechend gewählt werden, zum anderen lässt sich über die Helligkeit insbesondere benachbarter Farben der Kontrast steuern. Dies wird bei sorgsamer Anwendung zu einem optimierten Figur-Grund-Kontrast führen. Weiter hat die Helligkeit entscheidenden Einfluss, wie eine Farbe wirkt. Hierzu lässt sich festhalten, dass eine Farbe, je heller sie ist, an assoziativer Wirkung verliert (Sternad, 2012). Wird die Helligkeit zusammen mit der Variablen Größe angewandt, wird bei gleichläufiger Kombination der Variablen eine ordnende Wirkung verstärkt, bei gegenläufiger Kombination wird eine ordnende Wirkung reduziert (Spiess, 1973).

Die Transparenz vermag besonders im Dreidimensionalen den Eindruck von Tiefe verstärken. Sie kann auch durch geeignete Anwendung in den Fällen Einblicke ermöglichen, wenn ein Objekt durch ein anderes verdeckt werden würde. Jedoch steht Transparenz somit in einem Spannungsfeld von Abstraktion und Informationsdichte. Abbildung 4-10 macht dieses Spannungsfeld deutlich. In Abbildung 4-10 links ohne angewandte Transparenz ist das relevante Gebäude nicht sichtbar, in Abbildung 4-10 rechts mit angewandter Transparenz kommt das Gebäude gut zum Vorschein allerdings auch noch weitere Objekte, die unter Umständen ablenkend wirken könnten und zusätzliche Information beherbergen. Verdeckungen im Dreidimensionalen sind insbesondere durch den Standpunkt des Nutzers/Beobachters veranlasst.

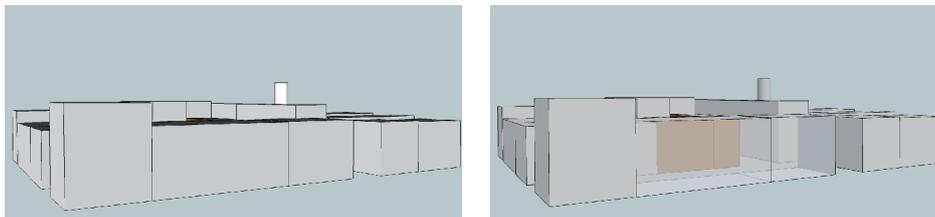


Abbildung 4-10: Anwendung der Transparenz in der Stadtmodell Visualisierung. Links ohne Transparenz; rechts mit Transparenz

4.3 Wahrnehmung und Computergraphik

Die Visualisierung dreidimensionaler Stadtmodelle ist ein Gebiet in der kartographischen Theorie, deren Entwicklung sich noch in einem Anfangsstadium befindet. Durch die den Stadtmodellen innewohnende Dreidimensionalität, welche auch einem Nutzer dargeboten werden soll, müssen in der Darstellung neben dem originären Design noch Tiefenhinweise (Abschnitt 4.2.2), gegenseitige Verdeckungen von Gebäuden (Swienty et al., 2008a) und die Interaktionen des Nutzers berücksichtigt werden. Insbesondere gegenseitige Verdeckungen können dazu führen, dass relevante Objekte in der Visualisierung nicht sichtbar sind (Abbildung 4-10). Die Computergraphik (Abschnitt 3.6.1) stellt das Werkzeug bereit, mit dem dreidimensionale Objekte, die in Form von Koordinatenwerten vorliegen, auf einem Display sichtbar gemacht werden können. Die Besonderheiten der kartographischen Stadtmodellvisualisierung, die aus der reinen Darstellung eines virtuellen Stadtmodells ein

dreidimensionales Informationssystem machen, müssen durch computergraphische Methoden umgesetzt und in die Visualisierung mit einfließen.

Um Stadtmodelle als Informationssysteme nutzbar zu machen und den Nutzer in seinem Wahrnehmungsprozess zu unterstützen, ist die Kenntnis der Grundzüge der Computergraphik nötig, um Schnittstellen aufzuzeigen, an denen Erkenntnisse des kartographischen Designs in den Renderingprozess der Computergraphik integriert werden können. Insbesondere neuartige Visualisierungstechniken, wie der in dieser Arbeit angesprochene Nicht-Photorealismus, lassen sich kartographisch nutzen, um abstrakte, auf das wesentliche reduzierte Darstellungen von Stadtmodellen zu erzielen.

Ziel der Computergraphik ist es an dieser Stelle, eine technisch bestmögliche Repräsentation einer Szene zu erzielen. Dies hat dazu geführt, dass überaus beeindruckende Darstellungen entstanden sind, die die physikalischen Eigenschaften verschiedener Materialien und ihre Interaktion mit unterschiedlichen Lichtquellen korrekt wiedergeben (Bartz et al., 2008). Dieses Bestreben ermöglicht auch in der Visualisierung faszinierende Ergebnisse, die aber nicht in allen Fällen zielführend sind. Insbesondere, wenn der Nutzer auf bestimmte Besonderheiten in den Daten über die Visualisierung aufmerksam gemacht werden soll. Gerade diese Art der Visualisierung versucht den Informationsgehalt zu maximieren, basiert jedoch nicht zwangsläufig auf physikalischen Grundsätzen, weshalb abstrakte, illustrative Visualisierungsansätze vielversprechender erscheinen (Bartz et al., 2008). Die Rolle, welche die Wahrnehmung in der Computergraphik spielt, ist somit Domain abhängig. Insbesondere Darstellungen für Informationssysteme bedürfen besonderer Aufmerksamkeit. Zur Anwendung und Wahl von Farbe sei auf Abschnitt 4.2.3.1 verwiesen.

Die in Abschnitt 2.3.2 angeführten Ergebnisse von Untersuchungen zur Wahrnehmung von graphischen Variablen in der Computergraphik zeigen auch, dass die kartographische Theorie von Erkenntnissen der Computergraphik profitieren kann und der konsequente Schritt in der Kartographie von der zweidimensionalen Darstellung zur dreidimensionalen gemacht werden muss. Die Kenntnis, welche graphischen Variablen auf das menschliche visuelle System besonders gut zur Hervorhebung relevanter Informationen geeignet sind nimmt eine immer wichtigeren Rolle beim Design von Visualisierungen ein (Swienty et al., 2008b).

Nicht-photorealistische Darstellungen scheinen geeignet die Aufmerksamkeit des Nutzers zu lenken, insbesondere wenn sie nach kartographischen Gesichtspunkten gestaltet sind. Dies lässt den Schluss zu, dass nicht-photorealistische gestaltete Stadtmodellvisualisierungen von diesem Gestaltungsansatz profitieren können und dem Nutzer somit eine effizientere Wahrnehmung der Szene ermöglichen (Halper et al., 2003a, Tateosian et al., 2007).

Kleinen Darstellungsflächen, wie sie bei Smartphones vorkommen, wurde bisher wenig Aufmerksamkeit gewidmet. Bei diesen spielen noch andere Zwänge im Design eine Rolle, so ist der Nutzer sehr viel stärker durch andere Einflüsse abgelenkt (Reichenbacher, 2004). Gleichzeitig wird der Bereich den das Display im Visuellen Feld einnimmt immer kleiner, sodass mehr Platz für störende Stimuli bleibt (Abbildung 2-13).

5. Zweck und Nutzen der Kartenprodukte

5.1 Der Nutzer, der Zweck und Usability

Die Kartenprodukte als Ergebnis des kartographischen Designprozesses mit seinem Primär- und Sekundärmodell sollen ein Ereignis beim Nutzer auslösen. Ein Tertiärmodell der Umgebung soll gebildet werden. Auf dieses kann der Kartograph indirekt über die beiden erst genannten Modelle Einfluss nehmen (Abschnitt 2.2.2). Was sich als Tertiärmodell beim Nutzer manifestiert, ist in erster Linie von der Usefulness (Nützlichkeit) abhängig, die sich mit den beiden Faktoren Usability (Gebrauchstauglichkeit) und Utility (Nutzwert) eines Produktes beschreiben lässt (Nielsen, 1993). Abbildung 5-1 veranschaulicht das Verhältnis dieser Faktoren, zu denen sich noch der Zweck gesellt, da der Nutzer in der Regel eine Karte oder ein Informationssystem bemüht, um einen bestimmten Sachverhalt näher zu ergründen. Das kartographische Produkt muss also auch noch einem bestimmten, zum einen durch den Nutzer vorgegebenen Zweck dienen. Zum anderen kann der Zweck darin bestehen bestimmte Informationen zu transportieren, die ein bestimmtes Ereignis beim Nutzer auslösen sollen. Der Zweck wird durch die Faktoren

- Nutzer,
- Einsatzgebiet und
- zu transportierende Information

beeinflusst. Nützlichkeit und Zweck werden über das Bindeglied, den Nutzer, zusammengeführt aber von unterschiedlichen Instanzen beeinflusst. So kann ein System einem bestimmten Zweck dienlich, aber einem bestimmten Nutzer nicht unbedingt von Nutzen sein. Heute wird oftmals nach der Prämisse „fit for purpose“ verfahren aber, das „fit for use(r)“ außen vorgelassen. Die Bedeutung des Nutzers im kartographischen Designprozess ist von besonderer Bedeutung, weil die Kartographie die Sichtbarmachung georäumlicher Information ist und somit die Schnittstelle zum Nutzer darstellt (Meng, 2006).

Der Notwendigkeit valider Nutzerbefragungen wird auch in der Kartographie mit zunehmendem Maße Rechnung getragen (Meng, 2008, Hermann und Peissner, 2003). In einem ersten Schritt sollte die Frage geklärt werden, ob ein bestimmtes Design dem Nutzer einen Mehrwert bringt, in einem zweiten Schritt sollte im Sinne der Kognitionswissenschaften versucht werden, zu ergründen, warum ein bestimmtes Design dem Nutzer einen Mehrwert bringt (vgl. Abschnitt 4.1).

In den nächsten Abschnitten dieses Kapitels wird erläutert, wie Usability im allgemeinen zu verstehen ist und wieso der Nutzer eines kartographischen Produktes im Mittelpunkt der Designbemühungen stehen sollte. Die Einteilung in verschiedene Nutzergruppen als erste Abstraktion vom einzelnen Nutzer soll die unterschiedlichen Bedürfnisse und Ansprüche verschiedener Nutzer an eine dreidimensionale Stadtmodellvisualisierung aufzeigen. Wie eine nutzerorientierte Gestaltung ablaufen soll, wird zum Abschluss dieses Kapitels aufgezeigt.

Die Literatur zur Usability spricht allgemein von einem System, welches den Anforderungen der Nutzer genügen soll. Unter diesem System ist in der Regel ein Softwareprogramm

mit zugehörigem User-Interface zu verstehen. Das User-Interface in der Kartographie ist die Karte selber. An dieser Stelle darf keine Verwechslung mit dem User-Interface entstehen, welches die Bedienung der digitalen Karte ermöglicht. So ist in diesem Zusammenhang das System die digitale kartographische Darstellung und nicht die Panning- und Zoomingfunktionalität einer Betrachtungssoftware.

5.2 Was ist Usability?

Wie reagiert ein Nutzer auf eine Anwendung und kann er das Informationsbedürfnis stillen, sind Fragen, auf die mittels Usability-Untersuchungen eine Antwort gefunden werden soll. Vor dem vertiefenden Einstieg in das Thema der Usability sollte eine Begriffsklärung stehen. Der international anerkannten ISO Standard 9241-11 „Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten“, definiert die Usability als

„Das Ausmaß, in dem ein Produkt durch bestimmte Benutzer in einem bestimmten Nutzungskontext genutzt werden kann, um bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen“ (DIN EN ISO 9241, (1999), Seite 5).

Die Usability setzt sich hiernach aus den Größen Effektivität, Effizienz und Zufriedenheit zusammen, die sich auch bei Nielsen (1993) in Abbildung 5-1 wiederfinden.

- Unter **Effektivität** wird verstanden, wie genau und vollständig ein System die gestellten Anforderungen erfüllen kann.
- Die **Effizienz** beschreibt den Aufwand, der nötig ist, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen.
- Die **Zufriedenheit** gibt an, inwieweit der Nutzer, abhängig von Effektivität und Aufwand, der betrieben werden muss, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen, dem System positiv gegenübersteht.

Der in der Definition angesprochene Benutzer soll mit dem System in einer bestimmten Situation erfolgreich seine Aufgaben erledigen, dies sagt aus, dass die Usability in erster Linie von dem Nutzer und dem zu erreichenden Ziel abhängt. In diesem Kontext hängen Ziel und Zweck in dem Maße zusammen, dass je optimaler, im Sinne der Usability, ein Ziel erreicht wird, desto mehr ist es für den zugrundeliegenden Zweck geeignet. Wie aufgezeigt, spielt der Nutzer die entscheidende Rolle.

Im Allgemeinen darf aber davon ausgegangen werden, dass im Sinne der Usability der Nutzer nicht als Individuum betrachtet werden muss. Er kann als eine Nutzergruppe verstanden werden, deren einzelnen Mitgliedern gleiche Bedürfnisse und Problemlösungskompetenzen zu eigen sind (Abschnitt 5.3.1).

Zu der Definition der Usability aus dem ISO-Standard gesellen sich noch eine ganze Reihe weiterer Definitionen, welche die Usability zu beschreiben versuchen. Blade und Padgett (2002, Seite 25) definieren die Usability als *„the effectiveness, intuitiveness and satisfaction with which specified users can achieve specified goals in particular environments, particularly interactive systems“*. Nach Nielsen (1993) kann die Nützlichkeit einer Anwendung, eines Systems oder auch eines Stadtmodells durch die beiden Faktoren Utility¹⁴ und

¹⁴ Brauchbarkeit, Nutzen

Usability ausgedrückt werden. Während die Utility beschreibt wie gut ein System etc. für eine bestimmte Aufgabe geeignet ist, wird mit der Usability zum Ausdruck gebracht, wie gut ein System einen Nutzer bei der Erledigung seiner Aufgaben unterstützt. Allen Definitionen sind die Größen Effektivität, Effizienz, Zufriedenheit und die Zielerreichung gemeinsam.

Die Usability eines Systems ist schwer zu quantifizieren, da sie durch Faktoren wie die Erlernbarkeit, Effizienz, Einprägsamkeit, Fehleranfälligkeit und Zufriedenheit geprägt wird (Nielsen 1993). Auf dreidimensionale Stadtmodelle übertragen, sind die Faktoren der Usability wie folgt zu verstehen:

- Erlernbarkeit (Learnability): Eine Darstellung soll schnell erlernbar sein, dies beinhaltet ein schnelles Erfassen der dargebotenen Informationen.
- Effizienz (Efficiency): Das Tertiärmodell muss eindeutig sein und dem Nutzer auch bei zukünftigen Frage-/Problemstellungen hilfreich sein.
- Einprägsamkeit (Memorability): Die Darstellung muss so beschaffen sein, dass sich auch nach einiger Zeit des nicht Gebrauchs ihre Symbole und Farbgebung erinnern lassen. Dies bedeutet eine intuitive Farbgebung und intuitive Symbole.
- Fehleranfälligkeit (Errors): Die Farbgebung und Symbolik muss so gewählt werden, dass Fehler bei der Interpretation durch den Nutzer vermieden werden.
- Zufriedenheit (Satisfaction): Die Darstellung soll ein positives Gefühl beim Nutzer erzeugen, er soll die Darstellung mögen.

Die aufgeführten Punkte unterstreichen noch einmal, dass insbesondere die Usability schwer zu messen ist und wie Abbildung 5-1 zeigt, nur eines der Merkmale ist, welche die Eignung der Darstellung für die Bildung eines effektiven Tertiärmodells ausmachen.

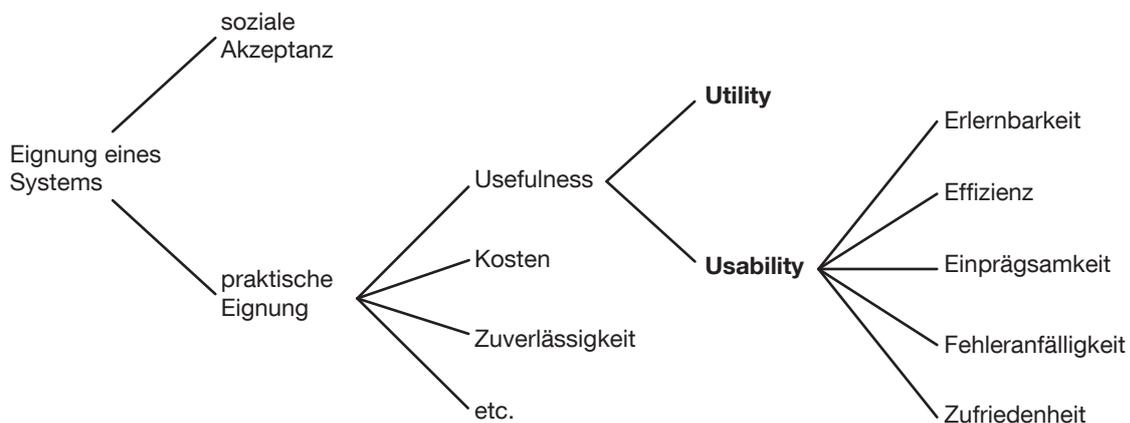


Abbildung 5-1: Attribute der Eignung eines Systems zur Erledigung von Aufgaben, unter denen die Usability eine besondere Stellung einnimmt (nach Nielsen 1993)

Bisher ist die Usability aus der Definitionssicht beschrieben worden, es stand im Vordergrund, was die Usability ausmacht und wie sie charakterisiert oder gemessen werden kann. Welche Faktoren, die Usability beeinflussen, sind eine weitere Perspektive, die es zu betrachten gilt, wenn sich mit Usability auseinander gesetzt wird. Abbildung 5-2 veranschaulicht sehr gut, welche Faktoren die Usability beeinflussen. Der Nutzer mit ihm innewohnenden Fähigkeiten als zentraler Faktor beeinflusst die Usability. Das Wissen um die

kognitiven Fähigkeiten des Menschen zur Verarbeitung von Informationen ist als weiterer Punkt wichtig und beeinflusst somit die Usability. Die Kenntnis über die Umgebung, in denen ein System gebraucht wird, beeinflusst die Usability ebenfalls. Deren Berücksichtigung kann die Usability ebenso positiv beeinflussen (Rosson und Carroll, 2002). Andererseits ausgedrückt, sind diese Faktoren von einem Designer zu berücksichtigen, um eine gute Usability zu erzielen.

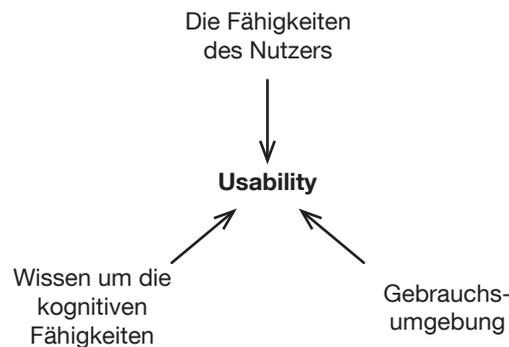


Abbildung 5-2: Faktoren, die nach Rosson und Carroll (2002) die Usability beeinflussen bzw. die Faktoren die man kennen sollte, um eine gute Usability sicherzustellen

Der Zweck und der Nutzer müssen analysiert werden und stehen im Vordergrund, wenn die Usability eines Systems oder wie in diesem Fall eines Stadtmodells bestimmt werden soll (Abschnitt 5.3.1). Das Wissen um die Verarbeitung visueller Informationen durch das menschliche kognitive System (Abschnitt 4.1 und 4.2) ist ein weiterer Aspekt, der in entscheidendem Maße die Usability beeinflussen kann. Der dritte Aspekt, die Umgebung, in der das System bzw. die Darstellung benutzt wird ist ebenso wichtig für die Usability jedoch schwierig vorherzusagen. Rückschlüsse auf die Umgebung kann unter Umständen aus dem Zweck gezogen werden, für den das System oder die Darstellung konzipiert wurde (Abschnitt 6.1).

Aus diesem Grund müssen auch für kartographische Visualisierungen ergonomische Charakteristika untersucht werden, bei denen der Nutzer im Mittelpunkt steht (Hermann und Peissner, 2003). Bisher ist die Schere zwischen dem, was technisch machbar ist, und dem, was den Nutzer in seinen Aufgaben unterstützt oder ihm einen Wissenserwerb ermöglicht, noch sehr groß. Insbesondere Stadtmodellvisualisierungen müssen an einen zukünftigen Nutzer angepasst werden und einem bestimmten Zweck dienlich sein. Die Frage, wie eine Visualisierung auszusehen hat, die dem Zweck und den Anforderungen eines Nutzers genügt, lässt sich durch das User-Centered Design beantworten (Nielsen, 1993, Mayhew, 1999, Rosson und Carroll, 2002).

5.2.1 Der Usability-Zyklus

Der Usability-Zyklus stellt eine Vorgehensweise dar, wie die Usability eines System, in diesem Fall eines dreidimensionalen Stadtmodells, sichergestellt werden kann. Er gliedert sich nach Mayhew (1999) in verschiedene Phasen (Abbildung 5-3). Die Erste Phase

beginnt damit die Nutzeranforderungen zu kennen. Dies kann durch eine Befragung potentieller Nutzer erfolgen, die in einem zweiten Schritt verschiedenen Nutzergruppen zugeordnet werden. Aus diesen Erkenntnissen ist eine Anforderungsanalyse für das System abzuleiten und umzusetzen.

Die zweite Phase, die Design-, Test- und Entwicklungsphase stützt sich auf die Ergebnisse der ersten Phase. Es werden die Ergebnisse der vorangegangenen Phase in erste Designvorschläge umgesetzt und Mock-Up's sowie Prototypen erstellt. Diese werden in der sogenannten Mid-Use-Untersuchung an Nutzern getestet, deren Ergebnisse in die Verfeinerung der Designvorschläge einfließt, sodass eine erste Rückkopplung mit dem Nutzer entsteht. In dieser Phase wechseln sich Design, das Testen der Designvorschläge und das Umsetzen der Erkenntnisse aus den Testreihen in verfeinerte Prototypen ab. Dieser Zyklus kann auch mehrfach durchlaufen werden, abhängig von dem Grad der Zielerreichung, der erlangt werden soll.

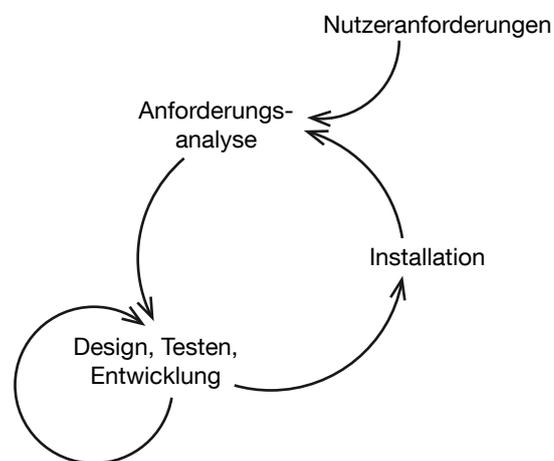


Abbildung 5-3: Der Usability-Zyklus zur Optimierung der Usability eines Systems

Den Abschluss bildet die dritte Phase – die Installation des Systems. Zu ihr gehört, dass nach erfolgreicher Installation beim Nutzer in bestimmten Abständen weitere Tests und Befragungen zu dem System durchgeführt werden, um das Design und somit die Usability zu erhöhen oder zumindest aufrechtzuhalten. Die Untersuchung der Usability hört nicht mit der Installation beim Nutzer auf, sondern sollte, wie in Abbildung 5-3 angedeutet, weiter gehen. Somit können neue und weiterentwickelte Nutzeranforderungen in zukünftigen Versionen des Systems mit berücksichtigt werden.

Der Usability-Zyklus, insbesondere das Design, Testen und die Entwicklung sind iterativ anzulegen, wie in Abbildung 5-3 angedeutet, sodass das System einen hohen Grad an Akzeptanz erreicht. (Mayhew, 1999).

5.2.2 Methoden zur Usability-Untersuchung

Der Usability-Zyklus beschreibt wie die verschiedenen Phasen zu einem guten und brauchbaren Design aussehen. Alle Phasen des Usability-Zyklus bauen auf den Rückmeldungen der vorhergehenden Phase auf, die potentielle oder echte Nutzer zu dem System abgeben.

Diese Rückmeldungen können im Rahmen von Usability-Untersuchungen auf verschiedenen Wegen gegeben und gesammelt werden.

Im Rahmen der Usability Tests unterscheidet man verschiedene Gruppen von Methoden, mit denen die Usability untersucht werden kann. Die Usability-Tests, bei denen Nutzer mit dem System arbeiten und Schwachstellen in der Bedienung und dem Design aufdecken sollen. Die zweite Gruppe beinhaltet Methoden, die den Nutzer einbeziehen, bei denen er jedoch keinen direkten Kontakt zu dem zu testenden System hat. Zu dieser Gruppe gehören Fragebögen, die der Nutzer beantworten soll. Eine dritte Gruppe von Methoden beinhaltet solche, die ohne einen Nutzer auskommen. Hierbei wird von Usability Experten oder auch Entwicklern anhand verschiedener Methoden die Usability von Systemen getestet (Binder, 2006). Die Grenzen zwischen den einzelnen Gruppen sind fließend und so können z.B. Fragebögen auch nach der Benutzung des Systems als Rückmeldung zum Einsatz kommen.

Im Nachfolgenden sollen die verschiedenen Methoden, die im Zusammenhang mit Usability-Tests zum Einsatz kommen können, kurz vorgestellt werden. Hierzu gehören die schon angesprochenen Fragebögen, die Beobachtung des Nutzers mittels Videosystemen, die „Thinking Aloud Methode“ und der „Cognitive Walkthrough“.

Fragebögen:

Fragebögen stellen ein einfaches und kostengünstiges Mittel dar, Rückmeldungen von Nutzern zu einem Sachverhalt oder einem System zu bekommen. Der Fragebogen kann sowohl in Papier, wie auch elektronisch vorliegen und von einem Nutzer beantwortet werden. Bei Fragebögen muss von Beginn an klar sein, welcher Aspekt getestet werden soll, da hiervon die Art der Fragen und Fragestellungen (offene, geschlossene Fragen) abhängt. Die Wahl einer Skala (gerade oder ungerade Anzahl an Antwortmöglichkeiten) kann das Ergebnis beeinflussen und muss im Vorwege abgewägt werden. Die Länge eines Fragebogens entscheidet mit darüber, ob er von einem Nutzer überhaupt ausgefüllt wird, so dass kurze Fragebögen eine weitaus höhere Rückläuferquote besitzen. Die Nachteile der Fragebogenmethode liegen in der relativ aufwendigen Fragebogenkonstruktion und der vorgegebenen Aspekte die untersucht werden sollen (Lienert und Raatz, 1998, Bortz und Döring, 2005, Bühner, 2007).

Der Fragebogen kann sowohl für Befragungen im Bereich der Nutzeranforderungen eingesetzt werden wie auch nach Beobachtungen des Nutzers, um ein subjektives Feedback zu dem eingesetzten System zu erhalten.

Beobachtungen des Nutzers:

Beobachtungen (Observationen) des Nutzers kommen in Usability Tests zum Einsatz, wenn Prototypen des Systems existieren, um die Interaktion des Nutzers mit dem System zu dokumentieren. Der Nutzer soll bei dieser Methode bestimmte Aufgaben erledigen, die möglichst an realen Einsatzszenarien orientiert sind. Durch Auswertung der Aufzeichnungen können Verbesserungspotentiale an dem System aufgezeigt werden (Hix und Hartson, 1993, Bowman et al., 2002). Zu diesen Methoden lässt sich das Eye-Tracking zählen, bei dem zusätzlich die Augenbewegungen des Nutzers registriert werden. Durch die Aufzeichnung der Augenbewegungen lässt sich insbesondere das Design von Systemen bewerten, da diese Methode objektive Ergebnisse liefert, welche Elemente für den Nutzer gut

zugänglich und wichtig waren und welche nicht (Ji und Zhu, 2003, Swienty, 2008, Schiessl et al., 2003, Sarodnick und Brau, 2011). Die Beobachtung des Nutzers kann noch mit der „Thinking-Aloud Methode“ kombiniert werden, um nicht nur die Eindrücke durch die Videoaufzeichnungen zu erhalten sondern auch noch subjektive Informationen des Nutzers in die Auswertung mit einfließen zu lassen. Die Methoden, die mit Beobachtungen des Nutzers arbeiten, bieten das größte Potential, Schwachstellen des Systems aufzuspüren. Sie sind im Gegenzug allerdings sehr arbeits- und kostenintensiv. Für eine solche Beobachtung müssen entsprechende Nutzer rekrutiert werden, und es müssen entsprechende Umgebungen aufgebaut werden, in denen die Tests durchgeführt werden können. Ein Großteil der Arbeit besteht in der Auswertung der Tests, das Videomaterial muss gesichtet und die Probleme der Nutzer kategorisiert und charakterisiert werden. Dies muss bisher manuell erfolgen und ist somit zeit- und kostenintensiv.

Die Beobachtung des Nutzers bei der Durchführung einer Aufgabe gehört mit zu den umfassenden Usability-Test Methoden und kann im Anschluss ebenso durch einen Fragebogenteil zu subjektiven Eindrücken des Probanden ergänzt werden.

„Thinking-Aloud Methode“:

Bei der „Thinking-Aloud Methode“ soll der Proband während des Tests „laut“ denken. Er ist dazu angehalten seine Gedanken während der Durchführung des Tests zu verbalisieren. Hierdurch ist es den Test betreuenden Personen möglich, zu erfahren warum, weshalb und wieso der Proband gerade etwas macht und welche Probleme auftreten. Diese Methode ist in Ihrer Durchführung und Auswertung ähnlich aufwendig wie die Beobachtung des Nutzers mit Videosystemen (Binder, 2006).

Den Nutzern fällt es oftmals schwer, diese Technik einzusetzen, insbesondere dann, wenn sie es nicht gewöhnt sind, ihre Gedanken laut zu äußern. Andererseits kann es zu Automatismen in der Verbalisierung kommen wenn der Nutzer mit dieser Technik sehr vertraut ist. Oftmals führen Nutzer Aktionen durch, ohne über diese gesondert oder besonders nachzudenken, in diesen Fällen muss der Nutzer an das Äußern seiner Gedanken erinnert werden. Diese Technik liefert subjektive Ergebnisse zu dem System, deren Ergebnisse aufgezeichnet und ausgewertet werden müssen. Auch hier müssen die Gedanken der Nutzer kategorisiert und charakterisiert werden, um einen Nutzen für die Verbesserung der Usability zu erzielen (Binder, 2006, Sarodnick und Brau, 2011).

„Cognitive Walkthrough“:

Der Cognitive Walkthrough fordert die Nutzer auf ihre Aufgaben im „Geiste“ durchzugehen, um auf potentielle Probleme zu treffen. Bei dieser Methode wird versucht, das Verhalten eines Nutzers vorausszusehen. Hierfür müssen eine Aufgabe, die der Nutzer zu erledigen hat, die Nutzergruppe, welcher der Nutzer angehört, der Nutzungskontext, in dem das System eingesetzt werden soll, und eine Handlungsabfolge, die als Ideallösung der Aufgabe angesehen werden kann, vorgegeben sein. Der Untersuchungsleiter versucht mit diesen Informationen einen Nutzer zu simulieren, in dem er sich in den Nutzer „hineindenkt“ und das System gedanklich benutzt, um zu dem gewünschten Ergebnis zu kommen. Der Vergleich der idealen Handlungsabfolge mit der, welche der Nutzer im Geiste durchgeht, kann potentielle Probleme aufdecken. Der Vorteil dieser Methode ist der, dass für ihre Durchführung noch keine Prototypen des Systems vorhanden sein müssen. Diese Me-

thode lässt sich schon zu einem sehr frühen Beginn in der Entwicklung einsetzen in dem auf Mock Up's zurückgegriffen wird (Sarodnick und Brau, 2011, Rosson und Carroll, 2002, Nielsen, 1993).

Die angeführten Methoden lassen sich im Rahmen von Usability-Untersuchungen einsetzen und haben ihre jeweiligen Vor- und Nachteile. Zu Usability-Untersuchungen im Allgemeinen lässt sich anführen, dass schon eine geringe Anzahl an Testpersonen ausreicht, um Grundlegende „Fehler“ in einem System zu finden.

„Geht es lediglich, um das Aufdecken grober „Usability-Schnitzer“, können angemessene Aussagen auch bereits mit drei bis fünf Nutzern gemacht werden.“ (Sarodnick und Brau (2011) Seite 214).

Für den Bereich der Kartographie ist zu erwähnen, dass die Usability-Untersuchungen, wie sie in der Literatur beschrieben sind, in erster Linie darauf abzielen, die Nutzerschnittstelle zwischen Mensch und Computer zu optimieren. Im Gegensatz hierzu sollen die Usability-Untersuchungen in der Kartographie dazu dienen, lesbare sowie schnell verständliche und wahrnehmbare Karten zu erzeugen.

5.2.3 Beispiele für Usability-Untersuchungen in der Kartographie

Wie schon erwähnt haben Usability-Untersuchungen auch in der Kartographie Einzug gehalten. In diesem Abschnitt sollen einige Beispiele Erwähnung finden, bei denen unterschiedliche Methoden zum Einsatz kamen. Die Kartographie stellt seit jeher Produkte für einen Nutzer her. Abbildung 5-4 zeigt einen Überblick über die Entwicklungsphasen der Kartographie und verdeutlicht, dass die Notwendigkeit organisierter und valider Untersuchungen, wie mit einem angepassten Kartendesign der Nutzer unterstützt werden kann, erst verhältnismäßig spät formuliert worden ist (Hermann und Peissner, 2003, Meng, 2006).

Die Entwicklung des Atlas von Canada¹⁵ (The Atlas of Canada) in seiner sechsten Auflage wurde von Usability-Untersuchungen begleitet. In vorherigen Versionen wurde festgestellt, dass Nutzer insbesondere mit den GIS-Funktionalitäten des Atlas Probleme hatten. Dies war der Anlass, die Entwicklung mit einem nutzerorientierten Design Prozess zu begleiten (Kramers, 2008). Fragebögen kamen in diesem Fall zur Untersuchung der Nutzergruppen und nach der Veröffentlichung des Atlas zum Einsatz (Kramers, 2009).

Mobile Anwendungen, in diesem Fall mobile Kartenanwendungen, können durch die Beobachtung der Nutzer mittels eines Videosystems erfolgen. Hierzu erhalten die Nutzer bestimmte Aufgaben, die sie durchführen sollen. Bei der Durchführung dieser Aufgabe werden sie beobachtet und diese Beobachtungen werden mit einem Videosystem festgehalten. Durch Auswertung der Beobachtungen könnte das Design der Kartendarstellung verbessert werden (Burghardt und Wirth, 2011).

Die Evaluierung des Designs nicht-photorealistischer dreidimensionaler Karten wurde mit Fragebögen durchgeführt. In dieser Untersuchung wurde Wert darauf gelegt, wie die Darstellungsart des Nicht-Photorealismus bei einem Nutzer ankommt. Hierbei wurde den Nutzern eine Aufgabe gestellt, die sie mit Hilfe nicht-photorealistischer dreidimensionaler Karten erledigen sollten. Die Auswertung der Ergebnisse hat zu Tage gefördert, dass die nicht-photorealistischen Kartendarstellungen gegenüber den photorealistischen für ihre Klarheit, ihren Nutzwert, ihre Usability, ihre Funktionalität, ihren ästhetischen Anspruch,

¹⁵ <http://atlas.nrcan.gc.ca/site/english/index.html> (22.08.2012)

ihre Lesbarkeit, ihre Eignung, ihren Innovationsgehalt und ihre Beliebtheit bevorzugt wurden (Plesa und Cartwright, 2008).

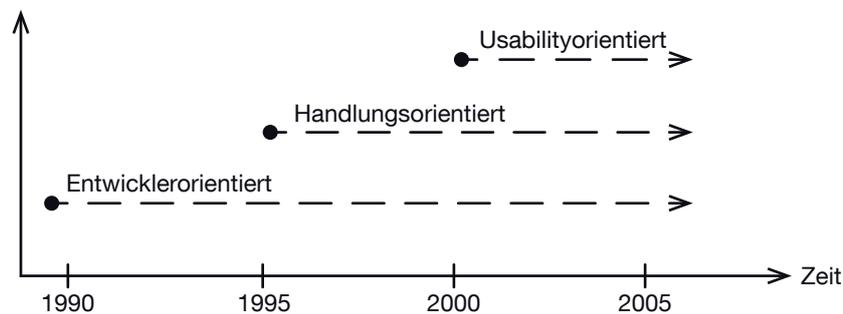


Abbildung 5-4: Evolutionsphasen der Kartographie nach Meng (2006) zeigt an, dass die Usability erst relativ spät in der Kartographie Fuß gefasst hat.

Mit Eye-Tracking Verfahren kann die Evaluierung von kartographischen Produkten von subjektiven Einflüssen der Probanden oder Nutzern befreit werden. Dieses Verfahren eröffnet die Möglichkeit, das Design so anzupassen, dass die relevanten Objekte sofort vom Blick des Nutzer erfasst werden, in dem nicht relevante Objekte abgeschwächt und relevante Objekte salient dargestellt werden (Swienty et al., 2008b).

Lobben et al (2005) gehen noch einen Schritt weiter über das Eye-Tracking hinaus und beobachten den Nutzer während des Kartenlesens mit funktioneller Magnetresonanztomographie, um zu ergründen wie die einzelnen Gehirnregionen beim Kartenlesen involviert sind (Lobben, 2004, Lobben et al., 2005). Mit dieser Methode lassen sich objektive Kriterien erarbeiten, welche Kartendarstellung auf das visuelle System des Menschen wirkt.

Die Beispiele zeigen, dass gute Ansatzpunkte für eine Verankerung der Usability getriebenen Entwicklung in der Kartographie vorhanden sind. Um diese Entwicklung voranzutreiben, hat die Internationale Kartographische Vereinigung¹⁶ (ICA) eine Kommission zu dem Thema „Use and User Issues¹⁷“ etabliert, die sich der Entwicklungen auf diesem Gebiet annimmt und in die kartographische Praxis überführt.

5.3 Der Nutzer im Mittelpunkt

In dem schon angesprochenen User-Centered Design steht der Nutzer im Mittelpunkt und der Designprozess für ein System oder eine kartographische Darstellung orientiert sich an seinen Bedürfnissen. Blade und Padgett (2002) definieren das User-Centered Design als „*design around the needs and goals of users and with users involved in the design process; design with usability as a primary factor.*“

Der Nutzer ist als das zentrale Element im Entwicklungsprozess anzusehen. Die Kenntnis über den Nutzer beeinflusst „...*how geometry and attributes are presented or how the graphical presentation is implemented.*“ (Weiser (2008) Seite 4). Die Nutzerorientierung kann somit auch als Abkehr von der Allgemeingültigkeit von Systemen verstanden werden.

16 ICA: <http://icaci.org/commissions/> (23.08.2012)

17 http://www.univie.ac.at/icacomuse/index.php?title=Main_Page (23.08.2012)

Im Bereich der Kartographie besitzen die topographischen Karten (Hake et al., 2002, Slocum et al., 2005) die größte Allgemeingültigkeit, da sie interessensneutral Informationen über die Umwelt transportieren sollen. Der Nutzerkreis soll für diese Produkte möglichst beliebig groß sein. Das Paradigma der Interessenneutralität und Allgemeingültigkeit widerspricht dem User-Centered-Design. Das User-Centered-Design stellt bewusst den Nutzer in den Mittelpunkt und bindet ihn über die im Abschnitt 5.2 beschriebenen Methoden in den Entwicklungsprozess mit ein. Die Allgemeingültigkeit eines Systems ist nicht mehr gegeben, dafür kann der Nutzer einen optimalen Mehrwert durch die Benutzung des Systems erzielen, während einem anderen Nutzer das System nicht unbedingt Vorteile in der Benutzung bringen muss (Mayhew, 1999).

Entgegen der topographischen Kartographie stellt die thematische Kartographie ein bestimmtes Thema in den Vordergrund. Sie bedient sich einer topographischen Karte als Orientierungshilfe für den Nutzer und überlagert diese mit einem Thema. Somit ist die thematische Kartographie an sich schon nutzerorientiert, da mit einem Thema ein bestimmter Nutzerkreis erreicht werden soll. Dieses Thema soll möglichst verlustfrei eine Botschaft transportieren. Auch wenn die Nutzerorientierung in der thematischen Kartographie nicht vordergründig war ist sie doch inhärent vorhanden. Abbildung 5-4 verdeutlicht exemplarisch wann in etwa die Nutzerorientierung in der Kartographie Einzug gehalten hat.

Der topographischen, wie auch der thematischen Kartographie wohnt der allgemeine Zweck der Informationsvermittlung inne. Dieser Zweck ist für die Kartographie als allgemeingültig anzusehen (Hake et al., 2002, Slocum et al., 2005), wodurch der Zweck für das Design kartographischer Darstellungen näher zu spezifizieren ist. Der Zweck ist, wie weiter oben beschrieben, zum einen vom Nutzer, dem Einsatzgebiet, und der Information, die transportiert werden soll, abhängig, zum anderen kann er vorbestimmt sein, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen.

Da es schwerlich möglich ist, ein System auf jeden Nutzer individuell zuzuschneiden, müssen die Nutzer kategorisiert und in Gruppen eingeteilt werden (Mayhew, 1999). Nach Weiser kann ein Nutzermodell beschrieben werden „... as a detailed description of either a person or a group of people with alike homogeneous attributes“ (Weiser (2008), Seite 24). Die folgenden Abschnitte erläutern die für diese Arbeit ausgewählten Nutzergruppen.

5.3.1 Verschiedene Nutzergruppen

Wie im vorherigen Abschnitt angeklungen, ist es nicht praktikabel, ein System an jeden Nutzer anzupassen. Hierzu teilt man die Nutzer in Gruppen mit gleichen oder ähnlichen Charakteristika ein. Diese „mehr oder weniger“ genau bestimmten Gruppen sind die Menschen, an die sich das System richtet, um ein konkretes Informationsbedürfnis in einer bestimmten Nutzungssituation zu stillen.

Unter einer Nutzungssituation ist nach Häberling ein „...konkretes Informationsbedürfnis (z.B. die beabsichtigte Fragestellung, das explorative Suchen, die spontane Neugierde) mitsamt den dazugehörigen Begleitumständen wie Ort, Zeit und verfügbare Arbeitsmittel...“ zu verstehen (Häberling (2003), Seite 21).

Die Nutzergruppen können z.B. nach der „Art der Nutzung“, der „Wissensbasis“ und der zu erledigenden „Aufgabe“ eingeteilt werden (Abbildung 5-5).

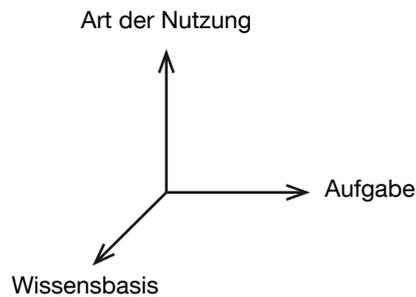


Abbildung 5-5: Einordnung von Nutzer- / Zielgruppen anhand der Eigenschaften „Art der Nutzung“, der „Wissensbasis“ und dem „Aufgabenspektrum“

Für jede Nutzergruppe sind weitere relevante Charakteristika zu bestimmen, mit denen die Bedürfnisse und die Nutzergruppe weiter beschrieben werden kann. Diese Charakteristika beziehen sich auf die

- Psychologischen Eigenschaften,
- das Wissen und die Erfahrung,
- die Berufs- und Aufgabeneigenschaften sowie
- die physischen Eigenschaften der Nutzer (Mayhew, 1999).

Diese angeführten Eigenschaften eines Nutzers werden in der Regel mittels Fragebögen erfasst, um belastbare Information für die weitere Arbeit zusammenzutragen. In dieser Arbeit, soll wie schon erwähnt, kein System zur Bedienung von digitalen Karten entworfen werden. Es soll die Darstellung der Karte, in diesem Fall des dreidimensionalen Stadtmodells im Vordergrund stehen. Für die Entwicklung einer Software, die sich zur Betrachtung dreidimensionaler nicht-photorealistischer Stadtmodelle eignet sei auf Abschnitt 8.3 verwiesen.

Die Nutzerprofilanalyse ist die erste Aufgabe in einer Usability-Untersuchung, aus der sich die Nutzergruppen ergeben (Mayhew, 1999, Rosson und Carroll, 2002). In der vorliegenden Arbeit orientieren sich die Nutzergruppen an Aufgaben, die durch dreidimensionale Stadtmodelle unterstützt werden können. Hierzu zählen der Stadtplaner, für den die Visualisierung vorhandener und zukünftiger Bebauung wichtig ist, der Tourist, für den das dreidimensionale Stadtmodell als Orientierungshilfe dienen kann, und der Stadtbürger, der das Stadtmodell als eine weitere Informationsquelle in seinen täglichen Lebensablauf einbaut, es sind jedoch auch noch weitere Nutzergruppen wie z.B. der Autofahrer oder Einsatzkräfte in einem Katastrophenfall denkbar. Die drei ausgewählten Nutzergruppen Tourist, Stadtbürger und Stadtplaner sollen anhand ihrer Stereotypen detaillierter beschrieben (Kobsa, 1993) und in Verbindung mit einem Zweck soll die Eignung einer nicht-photorealistischen Stadtmodell-Darstellung für die jeweilige Nutzergruppe untersucht werden.

Neben den angeführten Nutzergruppen (Stadtbürger, Tourist und Stadtplaner) lassen sich noch weitere Gruppen finden, für die eine dreidimensionale Darstellung eines Stadtmodells unterstützend bei einer Entscheidungsfindung sein kann. Auch können Nutzer mehreren Gruppen angehören, so kann z.B. der Stadtplaner auch als Tourist in einer Stadt

unterwegs sein. Solche Querverbindungen werden für eine erste Abschätzung einer nicht-photorealistischen Darstellung dreidimensionaler Stadtmodelle nicht berücksichtigt, die Nutzergruppen werden als voneinander getrennt betrachtet. Die in dieser Aufzählung nicht zu findende Nutzergruppe „Autofahrer“ kann zu allen angeführten Nutzergruppen gehören und insbesondere die dreidimensionale Darstellung könnte ihn bei seinen Navigationsaufgaben im Auto unterstützen. Für Navigationsaufgaben müssen jedoch die Stadtmodell-darstellung im Zusammenhang mit den Navigationshinweisen betrachtet werden, da die Interaktion von Navigationshinweis und Stadtmodell-darstellung nicht zu vernachlässigen ist. Aus diesem Grund wird auch eine mögliche Navigation bei der Nutzergruppe Tourist (Abschnitt 5.3.1.1) und Stadtbürger (Abschnitt 5.3.1.3) nicht betrachtet.

5.3.1.1 Der Tourist

Als Touristen sind die Menschen zu sehen, die bewusst Orte besuchen, die nicht in ihrer näheren Umgebung liegen und die sie nicht im Zuge ihres Weges von und zur Arbeit besuchen. An Orten, an denen ein Mensch arbeitet oder die er zum Einkaufen für den täglichen Bedarf aufsucht, gilt er ebenso wenig als Tourist.

In diesem Fall möge der Tourist eine Stadt besuchen, in der er sich nur sehr wenig auskennt. Man könnte den Touristen noch in einen Tagesausflügler und einen, der eine Nacht mehr in der Stadt verbringt unterscheiden. Dies ist in diesem Fall nicht nötig, da die Person sich erst mal in der Stadt orientieren und verschiedene besondere Orte (sogenannte Points of Interest) besuchen möchte. Somit ist auch schon der Zweck des Touristen festgelegt, es handelt sich in erste Linie um einen Orientierungszweck. Weiter wohnt dem Touristen inne, dass er Überblickinformationen über die Stadt benötigt, aber auch Detailinformationen zu Gegenden, in denen er sich aufhalten möchte, oder die er gedenkt zu durchstreifen. Sein Informationsbedürfnis ist als sehr selektiv anzusehen.

Die Art der Nutzung des Touristen ist eher erkundender, explorativer Natur und im privaten Bereich anzusiedeln. Die Umgebung, in der die Darstellung genutzt wird, kann sowohl vor Ort wie auch zuhause bei der Planung sein. Hier sei eine Nutzung vor Ort für den Touristen angenommen. Die Wissensbasis eines Touristen ist in der Regel als sehr weit gefächert anzunehmen. Aus diesem Grund wird ein gegenüber dreidimensionalen Darstellungen affiner Tourist angenommen, der schon auf diesem Gebiet Erfahrungen sammeln konnte und im Allgemeinen gegenüber dreidimensionalen Stadtmodell-darstellungen keine Vorbehalte hat. Die Aufgabe ist mit der Art der Nutzung verknüpft. Der Tourist möchte näheres über die Umgebung und deren besondere Orte erfahren.

5.3.1.2 Der Stadtplaner

Der Stadtplaner ist jemand, der dreidimensionale Darstellungen bewusst einsetzt. Er braucht in seiner Arbeit einen Überblick über die gesamte Stadt. Wichtiger ist ihm aber der detaillierte Überblick zu einem Areal, um das Zusammenspiel bebauter und unbebauter Gebäude zu erfassen und städtebaulich zu bewerten. Für den Stadtplaner ist somit die Informationsvermittlung von besonderer Bedeutung. Der Zweck eines Stadtplaners ist also in der Informationsvermittlung zu suchen. Der Stadtplaner ist als Experte bezüglich der

Nutzung dreidimensionaler Darstellungen zu betrachten. Er kennt sich aus und weiß wie verschiedenen Ansichten zu bewerten sind, vor allem hat er ein Gefühl dafür, wo er sich virtuell befindet und von welchem Blickwinkel er auf die Gebäude blickt.

Die Art der Nutzung manifestiert sich in der Informationsvermittlung durch Visualisierung, die in einem professionellen Umfeld stattfindet. Es ist anzunehmen, dass sich der Stadtplaner im Bereich dreidimensionaler Darstellungen auskennt und auch mit entsprechenden Geräten und Software zum Betrachten umzugehen weiß. Die Aufgabe des Stadtplaners liegt darin, sich mit Hilfe einer geeigneten Visualisierung einen Überblick über verschiedene Planungen und Entwicklungen der Stadt und ihrer Gebäude zu verschaffen. Die Nutzung wird eher am Arbeitsplatz als Vorort erfolgen.

5.3.1.3 Der Stadtbürger

Der Stadtbürger, als relevante Nutzergruppe ist mit seinem Umfeld vertraut, und kennt sich in der Regel auch gut in der Stadt, in der er lebt aus. Die Größe der Stadt spielt im Zusammenhang „mit sich auskennen“ eine entscheidende Rolle, hier sei eine Kleinstadt für den Erfahrungshorizont des Stadtmenschen angenommen. Ein Zweck lässt sich aus der Rolle „Stadtbürger“ nicht direkt ableiten, es sei aber angenommen, dass der Stadtbürger das dreidimensionale Stadtmodell ebenso wie der Tourist als Informationssystem einsetzt. Er wird es als weitere Quelle in seinen täglichen Ablauf integrieren und insbesondere an semantischer Information, in Form von z.B. Öffnungszeiten etc. interessiert sein.

Die Art der Nutzung wird zwischen beruflich und privat pendeln, abhängig von der gestellten Aufgabe, sei hier angenommen, dass die Nutzung eher im privaten Bereich anzusiedeln ist. Die Wissensbasis der Stadtbürger kann als sehr heterogen angesehen werden, aus diesem Grund wird angenommen, dass der entsprechende Stadtbürger erste Erfahrungen mit dreidimensionalen Darstellungen gesammelt hat. Die Aufgabe, welche die Darstellung zu erfüllen hat ist beim Stadtbürger ähnlich gelagert wie die bei dem Tourist. Der Stadtbürger sammelt Informationen und möchte diese eingänglich dargestellt bekommen. Der Unterschied zu einem Touristen besteht darin, dass der Stadtbürger einen breiteren Überblick erwartet, der Tourist dafür sehr selektiv genau Informationen über die für ihn relevanten Plätze und Orte benötigt.

5.3.2 Überblick über die relevanten Nutzergruppen

In den vorherigen Abschnitt 5.3.1 wurden die für diese Arbeit als relevant erachteten Nutzergruppen in kürze vorgestellt. Hierzu zählten die Definition eines Zwecks sowie die Einteilung der Nutzergruppen in den in Abbildung 5-5 eingeführten Raum zur Kategorisierung von Nutzergruppen, deren Achsen die Eigenschaften „Art der Nutzung“, „Wissensbasis“ und „Aufgabe“ repräsentieren.

In Tabelle 5-1 sind die Nutzergruppen mit ihrem zugeordneten Zweck und ihren Eigenschaften als Überblicksinformationen zusammengefasst.

Die Auswahl der Nutzergruppen kann noch erweitert und umfänglicher gestaltet werden. Für einen ersten Eindruck, in welchen Zweck-/Nutzungsszenarien dreidimensionale nicht-photorealistische Stadtmodelle dem Nutzer einen Vorteil bringen können ist diese Aus-

wahl als zielführend zu erachten. Diese Auswahl an potentiellen Nutzern zeigt ein breites Spektrum an möglichen Nutzungsszenarien auf, deren Erweiterung durch weitere Spezialisierung erreicht werden kann. So könnte dem Touristen noch der Geschäftsmann gegenübergestellt werden, dessen Nutzung, Wissensbasis und Aufgabe ähnlich angesiedelt zu betrachten ist, alleine die Tiefe der Informationen ist bei einem Geschäftsreisenden anders gelagert. Bezüglich potentieller Erweiterungen der Nutzergruppenbasis sei auf Abschnitt 8.3 verwiesen.

Zu den betrachteten Nutzern gehört der Tourist, mit einem Informationsbedürfnis, welches auf neue, die Wissensbasis erweiternde Informationen ausgelegt ist. Der Stadtplaner, der das Stadtmodell als Kommunikationsinstrument einsetzt, um die Wirkung neuer Bebauung in altem Bestand zu verdeutlichen. Dem Stadtbürger wie auch dem Tourist werden hier ähnliche Benutzungsmuster unterstellt, weshalb die beiden Nutzergruppen im nachfolgenden Abschnitt zum Tourist zusammengefasst werden. Die Nutzergruppen Tourist und Stadtplaner zeichnet somit eine allgemeine und großräumige Sicht auf eine Stadt aus.

Tabelle 5-1: Übersicht zu den Eigenschaften der verschiedenen in dieser Arbeit vorgestellten Benutzergruppen

Nutzergruppe	Zweck	Art der Nutzung	Wissensbasis	Aufgabe
Tourist	Orientierung & Navigation, Informationsgewinnung	privat, erkundend, explorativ, als Informationssystem in Abhängigkeit einer Reise	Affin gegenüber dreidimensionalen Darstellungen	Wissenserweiterung, Informationen sammeln
Stadtplaner	Informationsvermittlung, Informationsgewinnung	beruflich, visualisierend	Experte in der Interpretation dreidimensionaler Darstellungen	Überblick zu Planungen und Entwicklungen in der Stadt
Stadtbürger	„Nice to have“, Erweiterung der vorhandenen Hilfsmittel, Informationsgewinnung	Beruflich & privat, als Informationssystem im täglichen Leben	Computer affin, erste Erfahrungen in dreidimensionalen Darstellungen	Informationen sammeln, Wissenserweiterung

6. Kartographischer Gestaltungsrahmen für Stadtmodell Darstellungen

6.1 Zweckmäßigkeit vs. Nutzerorientierung

Die Verbindung Zweck-Nutzer ist in der Kartographie bisher wenig berücksichtigt worden. Eine Darstellung muss nicht nur an einem bestimmten Nutzer ausgerichtet sein, für diesen Nutzer muss sie sich auch als zweckdienlich erweisen. Wobei an dieser Stelle anzumerken ist, das zweckdienlich zwei Seiten bedienen kann. Zum einen kann der Zweck darin liegen, den Nutzer bei einer bestimmten Aufgabe optimal zu unterstützen, zum anderen kann der Zweck darin liegen, den Nutzer in eine bestimmte Richtung zu lenken.

Wie aus Tabelle 5-1 ersichtlich wird haben die Nutzergruppen Tourist und Stadtbürger ähnliche Ausprägungen. Für eine Zweck-Nutzer Betrachtung seien sie an dieser Stelle zusammengefasst, da beide Gruppen den übergeordneten Zweck der Informationsgewinnung gemeinsam haben und sich die Art der Nutzung sowie die Wissensbasis und die Aufgabe beider Gruppen nur gering unterscheiden. Werden die verschiedenen Zwecke und Nutzer gegenübergestellt, finden sich verschiedene Rollen, welche das Stadtmodell als Sekundärmodell in der kartographischen Modelltheorie (Abschnitt 2.2), in den unterschiedlichen Kombinationen einnehmen kann (Tabelle 6-1). Die beiden Nutzergruppen, der Tourist und der Stadtplaner stehen den beiden Zwecken Informationsgewinnung und Informationspräsentation gegenüber.

Tabelle 6-1: Gegenüberstellung verschiedener Zweck-Nutzer Kombinationen und die Rollen des Stadtmodells in den jeweiligen Fällen.

		Nutzer	
		Tourist/Stadtbürger	Stadtplaner
Zweck	Informationsgewinnung	Rolle 1a: Nutzung des Stadtmodells als Informationssystem (und Navigationssystem)	Rolle 1b: Vermittlung der Kenntnisse über die Struktur einer Stadt und die Verteilung der Bereiche wie Wohnen, Gewerbe und Industrie
	Informationspräsentation	Rolle 2a: Plakative Darstellung zur Überzeugungsarbeit in einer Bürgeranhörung	Rolle 2b: Darstellung des Bestandes und Gegenüberstellung verschiedener Varianten neuer Gebäude und deren Zusammenspiel mit dem aktuellen Bestand

In der Kombination **Tourist – Informationsgewinnung** (Rolle 1a) wird das Stadtmodell die Rolle eines Informationssystems annehmen. Es dient in diesem Fall dem Zweck Informationen zu liefern, die über die bloße geometrische Information hinausgehen. Hierbei kann es sich z.B. um Öffnungszeiten von Museen oder Standorte für Geldautomaten handeln.

Im Besonderen geht es bei dieser Aufgabe darum, die relevante semantische Information mit Hilfe eines Variablensatzes für den Nutzer schnell und einfach erfassbar darzustellen.

Der **Stadtplaner** kann das Stadtmodell auch zu **Informationsgewinnung** (Rolle 1b) einsetzen. Ein Beispiel wäre, wenn sich über die Zusammensetzung bzw. Struktur einer Stadt schnell ein Überblick verschafft werden muss. In diesem Fall würden zusätzliche Informationen in dem Modell kodiert werden müssen, die über die geometrische Information hinausgehen.

Die Kombination **Tourist – Informationspräsentation** (Rolle 2a) zielt darauf ab, Überzeugungsarbeit zu leisten. Somit nimmt das Stadtmodell bei dieser Kombination in erster Linie die Rolle eines Präsentationsmediums ein. Im Vergleich zur erst genannten Kombination soll hier keine zusätzliche Information dargestellt werden, sondern die vorhandene Information soll mithilfe geeigneter Gestaltungsmittel adäquat repräsentiert werden.

In der Kombination **Stadtplaner und Informationspräsentation** (Rolle 2b) soll das Stadtmodell interessenneutral die verschiedenen Varianten einer neuen Bebauung zeigen und deren Integration in eine vorhandene Bebauung sicherstellen. In diesem Fall kommt dem Stadtmodell eine präsentierende Rolle zu, die zum besseren Verständnis mit zusätzlicher semantischer Information angereichert sein kann. Der Planer soll in der Abwägung verschiedener Varianten/Bauvorschläge durch das Modell unterstützt werden. Als Beispiel würde sich die Visualisierung verschiedener Architekten Entwürfe im vorhandenen Bestand eignen.

Aus diesen Zweck-Nutzer Kombinationen lässt sich ableiten, dass die Visualisierung zum einen nur auf den geometrischen Informationen beruhen und zum anderen zu den geometrischen Informationen noch semantische Informationen hinzugefügt werden müssen, um ein brauchbares Ergebnis zu erzielen. Im Sekundärmodell müssen somit geometrische und semantische Informationen Berücksichtigung finden.

Der Anspruch, der somit an den Gestaltungsrahmen gestellt wird, ist, dass er sich sowohl auf geometrischen Entitäten als auch auf semantische Informationen anwenden lässt. Wobei die semantische Information über die geometrischen Informationen an den Nutzer transportiert werden muss, damit sie räumlich zuordenbar bleiben.

Betrachtet man die in Tabelle 6-1 angeführten Nutzungsszenarien, handelt es sich in Abschnitt 2.2.3 (ego- und geozentrische Darstellungen) in erster Linie um egozentrische Visualisierungen. Eine Egozentrik wohnt allen sich ergebenden Darstellungen inne. Dies ist durch die Adaption der Darstellung auf die verschiedenen Nutzergruppen gegeben. Die Visualisierung ist hierdurch weit möglichst an dem Nutzer orientiert. Zu unterscheiden ist an dieser Stelle, ob es sich um eine egozentrische oder geozentrische Sichtweise des Nutzers handelt. So ist die Sichtweise des Stadtplaners zur Strukturerkennung eher geozentrisch angelegt, die des Touristen, der Informationen über den Weg zu seinem nächsten Ziel präsentiert bekommen möchte, eher egozentrisch. Die Berücksichtigung der unterschiedlichen Sichtweisen ist Aufgabe des Kartographen. Somit ist zwischen

- egozentrischer und geozentrischer **Gestaltung** sowie
- egozentrischer und geozentrischer **Sichtweise** des Nutzers auf das Modell

zu unterscheiden. Wichtig ist anzumerken, dass die Visualisierungen egozentrischen Gesichtspunkten genügen müssen, um ihre Aufgabe zu erfüllen (Abschnitt 2.2.3).

Im Zuge des Gestaltungsrahmens ist zwischen Informationsfilterung und der Generalisierung zu unterscheiden. Beide Verfahren sind notwendig, um die für jede Nutzergruppe und jeden Zweck relevanten Informationen mit dem Stadtmodell zum Nutzer zu transportieren. Über die Informationsfilterung wird ein dem Zweck und Nutzer angepasster Datensatz zur Darstellung erzeugt, während die Generalisierung sich um die geometrische Reduzierung des Datensatzes kümmert, die insbesondere bei begrenzter Darstellungsfläche von Relevanz ist. In Abschnitt 3.6.4 werden die Generalisierung und die Informationsfilterung näher betrachtet.

6.2 Einflussfaktoren des Stadtmodelldesigns

Neben der Auswahl der entsprechenden Daten, die den Nutzer in seiner Aufgabenerfüllung unterstützen, beeinflussen noch weitere Aspekte das Design dreidimensionaler Stadtmodelle. Hierzu gehören die originären kartographischen Einflüsse (Kapitel 2), sowie die Erkenntnisse aus der visuellen Forschung (Abschnitt 4.2.3). Die Kognitionswissenschaften geben entscheidende Hinweise insbesondere für die dreidimensionale Darstellung (Kapitel 4). Die Einflüsse der Usability-Untersuchungen sind schon in die Zweck-Nutzer Kombinationen und die Rollen des Stadtmodells eingeflossen (Kapitel 5). Die verschiedenen Faktoren werden in den folgenden Abschnitten zusammenfassend dargestellt, um ihren Einfluss auf die Stadtmodellvisualisierung zu verdeutlichen.

6.2.1 Kartographische Einflüsse

Die Dreimodell-Theorie des kartographischen Kommunikationsprozesses (Abschnitt 2.2.2) gilt ohne Einschränkungen auch für die Stadtmodellvisualisierung. Das Stadtmodell setzt sich aus den geometrischen Primitiven (Punkt, Linie und Fläche) zusammen, aus denen die einzelnen Gebäude eines Stadtmodells gebildet werden. Dieser Umstand lässt darauf schließen, dass die graphischen Variablen sich mit bestimmten Einschränkungen anwenden lassen. Die Einschränkungen sind insbesondere durch die Erkenntnisse der Kognitionswissenschaften bedingt. Damit eine Darstellung einen dreidimensionalen Charakter aufweist, muss sie bestimmte Hinweise enthalten, die das menschliche visuelle System eine Dreidimensionalität erleben lassen.

In Anlehnung an die in Abschnitt 2.3.3 vorgestellten Rahmenbedingungen für die Kartengestaltung gilt für dreidimensionale Stadtmodelle ähnliches:

- Die räumlichen Informationen sollten geometrisch richtig in Lage und Größe dargestellt sein
- Dreidimensionale Objekte sollten entsprechend ihrer Bedeutung für die Stadt dargestellt werden, wobei auf eine Ikonisierung verzichtet werden sollte, um den Stadtcharakter zu erhalten, jedoch als Zusatz durchaus denkbar. Somit gilt auch hier:
 - Gleiches gleich, Ungleiches ungleich darstelle. Für die Stadtmodellvisualisierung bedeutet dies, dass eine „Andersartigkeit“ (Abschnitt 4.1.2) zwischen den Objekten mit Hilfe der graphischen Variablen hergestellt werden muss, um sie unterscheidbar zu gestalten.

- Wichtiges erhalten, Unwichtiges fortlassen. Der Informationsfilterung/Generalisierung (Abschnitt 3.6.4.1) kommt besonderes Gewicht zu, um eine nutzerorientierte, Informationsreduzierte Gestaltung zu erhalten.
- Typisches betonen, Untypisches abschwächen. Auf die Stadtmodellvisualisierung angewandt würde dies bedeuten relevantes betonen und nicht relevantes abschwächen.
- Die Erkennbarkeit einzelner Bestandteile des Stadtmodells muss gewährleistet sein, hierzu ist es nötig, eine eindeutig Differenzierung herbeizuführen, auch wenn sich Objekte weit von einem virtuellen Betrachter entfernt befinden.
- Mindestdimensionen gelten ebenfalls im Stadtmodell. Hier sind die Mindestdimensionen für die Bildschirmdarstellung anzuhalten. Zur Differenzierung zwischen Objekten in der Szene sollten die oberen Werte als Mindestmaße (Abschnitt 2.4) angesehen werden. Sie sollten durchweg größer gewählt werden
- Die Einteilung in verschiedene Maßstabsbereiche entfällt. In einer Stadtmodell Darstellung finden sich Objekte in variierendem Maßstab (Abschnitt 3.6.3). Hieraus folgt, dass die Objekte sowohl in kleinen wie auch in großen Maßstabsbereichen gut erkenn- und identifizierbar sein müssen.

Auch für die Stadtmodellvisualisierung gilt, dass die Stadt mehr als die Summe ihrer einzelnen Gebäude ist. Dies bedingt eine harmonische dem Zweck und Nutzer angemessene Wahl der graphischen Variablen und Farbgestaltung.

Der Figur-Grund-Kontrast ist auch in Stadtmodellvisualisierungen zu berücksichtigen, insbesondere wenn Objekte, Zweck oder Nutzer bedingt hervorgehoben werden sollen. Eschwerend kommt bei Stadtmodellen hinzu, dass die Wahrnehmung besonderer Objekte durch den Blickwinkel und die Perspektive auf das Modell beeinflusst wird und es dadurch zu Verdeckungen kommen kann (Abbildung 4-10).

6.2.2 Einflüsse der visuellen Forschung

Die gestalterischen Einflüsse aus der visuellen Forschung in Form von Hinweisen für die graphische Gestaltung sollten ebenso Eingang in die Stadtmodellvisualisierung finden (Abschnitt 4.2.3). Insbesondere die Anmerkungen zu Farbharmonie und Assoziationen, die zwar auch aus der Kartographie bekannt sind, sind ein Beitrag, der in die Gestaltung von Stadtmodellen mit einfließen sollte. Der Nicht-Photorealismus eröffnet hier Freiräume die in der Farbanpassung an eine bestimmte Situation sonst nicht gegeben wären.

So können Objekteigenschaften über die richtige Farbwahl unterstrichen oder kontrastiert werden.

- Die Farbtemperatur kann Berücksichtigung finden, so wirken blaue und grüne Farben kühler als rote.
- Ebenso ist die Größe der Fläche auf die Farbe angewendet wird von Belang. Farben wirken auf großen Flächen deutlich stärker.
(Runk, 2011)

Die topographischen Karten, nach den Vorgaben der AdV¹⁸ geben Hinweise, wie für bestimmte Bereiche wie Wohnen, Gewerbe oder Industrie die Farbe eingesetzt werden kann. Die Signaturenkataloge der AdV sind bestimmten Maßstäben zugeordnet, der kleinste Maßstab für den ein ATKIS Signaturenkatalog erstellt wurde ist 1:10'000. In diesem Katalog findet sich die höchste Auflösung an darzustellenden Details, hierzu gehören Wohnbauflächen sowie Gewerbe- und Industrieflächen. Unter den zur Verfügung stehenden Signaturenkatalogen finden sich explizite Angaben, wie Gebäudegrundrisse dargestellt werden sollten. Auch bei den Gebäuden wird in Wohngebäude und Industrie- bzw. Gewerbegebäude unterschieden (Abbildung 6-1). Die Darstellung von Acker- oder Forstflächen sei außenvorgelassen, da sie innerhalb einer Stadt von untergeordneter Relevanz sind. Wiesen- oder auch Parkflächen kommen vor und sollen berücksichtigt werden.

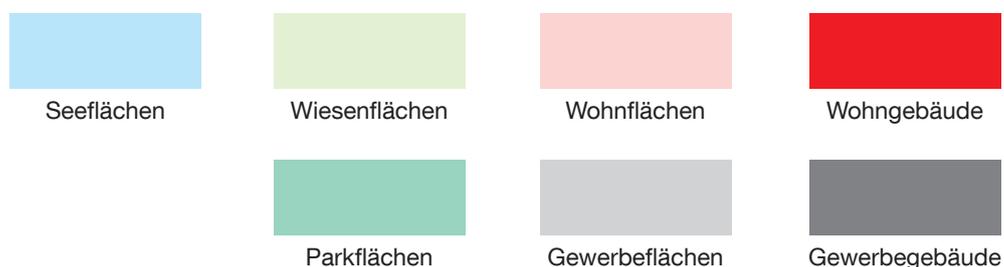


Abbildung 6-1: Für Stadtmodelle relevante Flächenfarben aus dem ATKIS-Signaturenkatalog

Diese Farbgebung zur Unterscheidung von Wohnbau und Gewerbeflächen hat den Vorteil, dass sie bei vielen Menschen, die sich mit den topographischen Karten der Landesvermessung auskennen, bekannt ist. Sie hat zum einen den Nachteil, dass nur grob differenziert wird und zum anderen, dass die gewählten Farben somit thematisch vorbelegt sind.

6.2.3 Kognitive Einflüsse

Die kognitiven Wissenschaften geben Hinweise, wie Objekte gestaltet werden sollten, damit sie dem Nutzer sofort ins Auge fallen. Die Gestaltgesetze (Abschnitt 4.2.1) geben gute Hilfestellungen wie mit Objekten umgegangen werden sollte, wenn z.B. Stereotypen als Gebäuderepräsentanten verwendet werden, da eine detaillierte Ausgestaltung zu viel Information beinhalten würde.

Zu den relevanten Gestaltgesetzen gehören

- das Gesetz der Nähe
nah beieinander liegende Objekte werden als zusammengehörig empfunden z.B. einzelne Gebäude werden als Blocks wahrgenommen,
- das Gesetz der Ähnlichkeit
Objekte mit ähnlicher Bedeutung und thematischer Nähe sollen so dargestellt werden dass diese Nähe deutlich wird,

¹⁸ Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Bundesrepublik Deutschland; Online: www.adv-online.de (30.08.2012)

- das Gesetz der guten Fortsetzung, Objekte sollen als zusammengehörig empfunden werden, wenn sie eine ähnliche Bedeutung aufweisen oder eine thematische Nähe besitzen,
- das Gesetz der Guten Gestalt, komplizierte Objekte werden durch einfache Formen zerlegt und
- das Gesetz der Geschlossenheit, relevante, verteilte Objekte werden als Struktur erkannt und wahrgenommen.

Das Gesetz des gemeinsamen Schicksals sei an dieser Stelle außenvorgelassen, da es insbesondere für bewegte Objekte innerhalb des Stadtmodell zur Verfügung stehen sollte.

Ein weiterer Punkt, der die kognitiven Einflüsse gut beschreibt, sind die verschiedenen Tiefenhinweise (Abschnitt 4.2.2), mit denen das visuelle menschliche System in die Lage versetzt wird, Tiefe in einer zweidimensionalen Zeichenfläche (dem Bildschirm) wahrzunehmen. Die Perspektive und die gegenseitigen Verdeckungen geben die entscheidenden Hinweise für Tiefeninformationen im Stadtmodell. Für die Integration von Tiefenhinweisen kommen die graphischen Variablen (Tabelle 4-1)

- Form,
- Schärfe,
- Sättigung,
- Größe und
- Kontrast

in Betracht. Im Besonderen tritt die Variable Größe durch die perspektivische Ansicht dreidimensionaler Darstellungen hervor. Zur Übertreibung und damit Verbunden einer Kenntlichmachung eines Objekts im Modell lässt sich die Größe auch neben ihrer Bedeutung als Tiefenhinweis einsetzen.

6.2.4 Usability Einflüsse

In der Kartographie und im Speziellen der Stadtmodell Darstellung spielt der Nutzer eine zentrale Rolle. Wie in Kapitel 5 dargelegt wurde, ist neben dem Nutzer auch immer der Einsatzzweck zu berücksichtigen. Die dargelegten Methoden zur Sicherstellung einer guten Usability sind mit dem Ziel, gute Benutzerschnittstellen zu entwerfen, entwickelt worden. Für die Kartographie und insbesondere die Visualisierung dreidimensionaler virtueller stadträumlicher Umgebungen sind diese Methoden nicht grundsätzlich anwendbar. Die kartographische Usability konzentriert sich in erster Linie auf die Darstellung, so dass mit Fragebögen gute Ergebnis zur Nutzererfahrung erzielt werden können. Neben den Fragebögen eignet sich noch das Eye-Tracking, da es direkte objektive Rückmeldungen des Nutzers zur eingesetzten Darstellung liefert.

Die vier verschiedenen Rollen, die ein Stadtmodell, neben vielen weiteren in dieser Arbeit nicht betrachteten Rollen in verschiedenen weiteren Zweck-Nutzer Kombinationen spielen kann, sind ein Beleg dafür, dass der Nutzer von essentieller Wichtigkeit ist.

Als Nutzer treten in dieser Arbeit der Stadtplaner und der Tourist auf, das Stadtmodell soll für diese beiden Nutzer den Zweck der Informationsgewinnung und der Informationsrepräsentation erfüllen (Tabelle 6-1). Ästhetische Stadtmodell Darstellungen (Abschnitt 3.3),

die nicht an einem Nutzer orientiert sind, haben nur einen beschränkten Mehrwert für den Nutzer.

6.3 Erzeugung eines abstrakten, nicht-photorealistischen Eindrucks

Die Abstraktion, das Schlüsselkonzept des Nicht-Photorealismus, ist eng mit der Informationsdichte verknüpft. Die Informationsdichte beschreibt das Verhältnis von Informationseinheiten zu der Fläche, welche die Darstellung dieser Informationseinheiten in Anspruch nimmt. Die Abbildung 6-2a bis Abbildung 6-2c weisen unterschiedliche Informationsdichten auf. Wenn Abbildung 6-2a 100% der Informationen enthält, dann enthält Abbildung 6-2b noch ca. 85% und Abbildung 6-2c noch ca. 17% der ursprünglichen Informationen. Informationseinheiten können in diesem Zusammenhang ganze Gebäude, aber auch Teile von Gebäuden wie z.B. Balkone oder Fenster sein (vgl. Abschnitt 3.6.4.3).

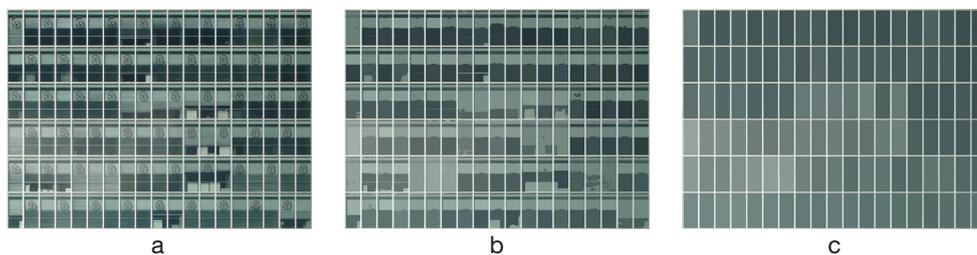


Abbildung 6-2: Reduzierung der Informationsdichte: a) Original Bild, b) erste Reduzierung der Informationsdichte, c) weitere Reduzierung der Informationsdichte aus Jahnke (2011b)

Das Auswahlgesetz nach Töpfer (Abschnitt 2.5.3) stellt die Basis dar, um Informationen abhängig von einem Maßstab zu reduzieren. Es gibt an, wie viele Elemente pro Flächeneinheit dargestellt werden sollen. Da die dreidimensionale Darstellung einen in der Visualisierung variierenden Maßstab aufweist, ist deren Anwendung nicht ohne weiteres möglich. Das Auswahlgesetz kann aber als Anhaltspunkt für die Reduzierung von Elementen dienen. So ließe sich ein Maßstabsbereich definieren für den die Auswahl optimiert ist, deren Unter- oder Überschreitung hingenommen werden kann, ohne große Abstriche in der Klarheit und Erkennbarkeit zu erhalten.

Nach erfolgreicher Informationsreduzierung (Abschnitt 3.6.4) schließt sich der Schritt der Darstellung an. Die Freiheiten in der Darstellung, welche der Nicht-Photorealismus (Abschnitt 3.1) mit sich bringt, zeichnen ihn gegenüber an der Realität orientierten Darstellungsstilen aus und prädestinieren ihn für die Visualisierung von Stadtmodellen.

Auf Basis der graphischen Variablen (Abbildung 2-6 und Abbildung 2-7) soll ein nicht-photorealistischer Eindruck für das Stadtmodell erzeugt werden. Hierfür muss untersucht werden, wie sich die graphischen Variablen auf die geometrischen Primitive Punkt, Linie und Fläche im Dreidimensionalen anwenden lassen. Im Folgenden soll die Eignung der einzelnen graphischen Variablen (Abschnitt 2.3.2) für die verschiedenen geometrischen Primitive (Abschnitt 2.3.1) erläutert werden.

Kanten:

Als geeignete graphische Variablen zur Beeinflussung der **Kanten** eines Gebäudes bieten sich die Größe, Farbe, Schärfe, Sättigung, Helligkeit und Muster an. Die Orientierung, die Form, die Transparenz und die Auflösung ebenso wie die zusammengesetzte Variable Klarheit eignen sich nur bedingt zur Anwendung auf Kanten. Die Orientierung ist räumlich durch die geometrische Ausgestaltung des Gebäudes festgelegt. Auf die Kante, als Repräsentation des Schnittes zweier Ebenen, ist eine sinnvolle Anwendung der Transparenz nicht möglich. Die Variable Auflösung ist ähnlich gelagert, auch sie eignet sich nur bedingt für die Anwendung auf eine Kante und kann teilweise über die Variable Schärfe (siehe weiter unten) mit ausgedrückt werden. Die Variable Auflösung eignet sich originär eher für Flächen bzw. Ebenen. Die Form einer Kante ist ebenso durch ihre geometrischen Eigenschaften definiert und nicht veränderbar.

Die **Größe** lässt sich als Linienbreite (Dicke) interpretieren, durch deren Variation einzelne Kanten oder auch gesamte Gebäude hervorgehoben werden können, gleichzeitig kann auch der Tiefeneindruck verstärkt werden, wie Abbildung 3-3 zeigt. Die Größe zeigt ihre Wirkung im Dreidimensionalen hauptsächlich in Relation zu gleichartigen Objekten in der Umgebung. Sind benachbarte Kanten unterschiedlich stark, ist dieser Effekt unabhängig von der Entfernung der Kanten zum Beobachter. Die **Farbe**, auf die Linie angewandt, kann den Eindruck des Hervorhebens noch verstärken, sie kann auch als Kodierung für Attributwerte eine gesonderte Information an den Nutzer transportieren. Sie ist jedoch abhängig von der Größe der Linie, da die Farbe erst ab einer bestimmten Linienbreite, ebenso wie das Muster, wirkt und erkennbar ist. Die **Schärfe** oder auch Unschärfe einer Kante ermöglicht den Eindruck der Ungewissheit (Uncertainty), die Kante wirkt nicht exakt begrenzt. Die Linienbreite ist nicht eindeutig identifizierbar. Dieser Effekt nimmt mit zunehmender Entfernung vom virtuellen Betrachter ab, da die Schärfe als solche verschwimmt und der Auflösung der Darstellungsfläche (Abschnitt 2.4) zum Opfer fällt. Die **Sättigung** wie auch die **Helligkeit** sind mit der Farbe verknüpft (Abschnitt 2.3.2). Das **Muster** einer Kante, welches auch als Textur dieser aufgegriffen werden kann, ermöglicht eine Vielzahl an Ausdrucksmöglichkeiten für eine Kante. Abhängig von dem Muster kann z.B. die Ungewissheit verstärkt oder ein cartoonartiger Charakter erzeugt werden (Abbildung 6-3). Der cartoonartige Charakter von Kanten kann noch durch kurze Überlappungen der Kanten an den Knoten verstärkt werden (Frederick, 2007).



Abbildung 6-3: Verschiedene Formen für eine Kante, von gerade über ausgefranst und unscharf bis stark variierend

Die Gestaltung der Kanten erwirkt erst ihre volle Ausdruckskraft, wenn sich im Zusammenspiel mit den anderen geometrischen Primitiven ein harmonisches Gesamtbild ergibt.

Flächen:

Die **Flächen** eines Gebäudes (Volumen) lassen sich mit den Variablen Farbe, Muster, Helligkeit, Sättigung und Transparenz verändern, um ein entsprechendes Aussehen zu erlangen. Die Variablen Form, Orientierung, Größe, Schärfe, Auflösung und Klarheit sind für die Anwendung auf Flächen weniger geeignet. Die Form von Flächen bzw. Fassaden ist durch ihre Geometrie vorgegeben und somit nicht veränderbar außer man verzerrt die Fläche bzw. das Gebäude (siehe weiter unten).

Die Orientierung und Größe einer Fläche sind ebenso wie die Form durch die Geometrie festgelegt. Die Schärfe kann als Unschärfe zu den Rändern einer Fläche interpretiert werden. Die Klarheit, ebenso wie die Schärfe bzw. Unschärfe kann dahin gehend interpretiert werden, dass sie die Abgrenzung der Fläche widerspiegelt. Die Variablen Schärfe und Klarheit interagieren mit den Kanten und können nur zusammen mit diesen sinnvoll eingesetzt werden. Für die Auflösung gilt gleiches wie für die Kanten.

Die **Farbe** lässt sich zu Zwecken der Kategorisierung einsetzen, so lässt sich mittels der Farbe für die Gebäudeflächen zwischen unterschiedlichen Nutzungen differenzieren. Die **Helligkeit** und **Sättigung** hängen mit der Farbe zusammen und lassen sich in Kombination auch für Hervorhebungen von Gebäuden einsetzen. Das **Muster** einer Fläche kann auch als Textur aufgefasst werden. Das Muster kann einem Thema zur Kenntlichmachung relevanter Gebäude angepasst sein oder dazu genutzt werden, den Gebäuden ein der Realität ähnelndes Aussehen zu geben. Als Muster ließen sich die in Abbildung 6-2 dargestellten Texturen einsetzen. Sie reduzieren zugleich auch die dargestellten Details auf der Fassade. Die Fassadentexturierung ist ein beliebtes Mittel, um den Gebäuden einen natürlichen Charakter zu geben. Der **Transparenz** kommt in der Stadtmodellvisualisierung eine besondere Bedeutung zu. Sie kann einerseits dem Effekt der Abstraktion entgegenwirken, in dem Sie zusätzliche Objekte sichtbar macht, andererseits ist dies die einzige Möglichkeit, verdeckte Gebäude aus bestimmten Perspektiven in den Fokus des Nutzers zu bringen (Abbildung 4-10).

Knoten:

Knoten oder Punkte sind wichtig für die Modellierung und Generalisierung von Gebäuden und spielen in der Stadtmodellvisualisierung eine untergeordnete Rolle. Auf sie lassen sich die Variablen Form, Größe, Farbe, Helligkeit und Sättigung anwenden. Die Variablen Orientierung, Muster, Transparenz, Auflösung, Schärfe und Klarheit sind nicht für die Anwendung auf Knoten geeignet. Die Orientierung des Knotens, der als Punkt oder Kugel gesehen wird, hat keinen Einfluss auf die Darstellung. Das Muster lässt sich erst ab einer bestimmten Größe des Knotens einsetzen, deren Auswirkungen in den meisten Fällen den Mindestdimensionen zum Opfer fallen wird. Für die Transparenz, Auflösung und Klarheit bei Knoten gilt gleiches wie für die Transparenz, Auflösung und Klarheit bei Kanten. Der Umriss eines Knotens muss definiert sein, sodass die Schärfe anwendbar ist.

Die **Form** lässt sich für Knoten als ein Vieleck interpretieren und anwenden. Die Variable **Größe** gibt dem Knoten einen Durchmesser, sodass im gleichen Zuge die Variable **Farbe** anwendbar wird. Mit der Farbe sind die **Helligkeit** und die **Sättigung** verknüpft.

Die Zusammenstellung in Tabelle 6-2 zeigt die Eignung der verschiedenen Variablen zur Anwendung auf die geometrischen Primitive im Kontext der Stadtmodellvisualisierung. Aus den zugehörigen Erläuterungen wird deutlich, dass für die dreidimensionale Visuali-

sierung die Größe als die entscheidende Variable angesehen werden kann. Zum einen ist sie wichtiger Träger von Tiefenhinweisen, zum anderen lassen sich andere Variablen wie Farbe, Helligkeit, Sättigung und Muster erst anwenden, wenn die geometrischen Primitive eine Größe (Dicke, Durchmesser) aufweisen.

Tabelle 6-2: Eignung der graphischen Variablen für die verschiedenen geometrischen Primitive in der Stadtmodellvisualisierung

Variable	Kanten	Flächen	Knoten	Volumenobjekte
Form			•	•
Farbe	•	•	•	•
Orientierung				
Muster	•	•		
Helligkeit	•	•	•	
Größe	•		•	•
Schärfe	•			
Transparenz		•		•
Auflösung				
Sättigung	•	•	•	
Klarheit				

Bisher wurden die geometrischen Primitive, Knoten, Kante und Fläche, aus denen ein dreidimensionales Objekt modelliert wird einzeln betrachtet. Für die Visualisierung dreidimensionaler Objekte ist es jedoch unerlässlich auch deren Kompositionen zu Objekten zu betrachten. Im Fall der Stadtmodellvisualisierung, wie sie in dieser Arbeit betrachtet wird, handelt es sich bei denen in Tabelle 6-2 genannten Volumenobjekten aufgrund ihrer semantischen Bedeutung um Gebäude.

Es lassen für die Anwendung auf ein Gebäude die Variablen, Größe, Farbe, Form und Transparenz identifizieren (Tabelle 6-2). Die **Größe** auf ein Gebäude angewandt würde dieses in seinen Ausmaßen erweitern. Die Größenänderung entlang der x- und y-Achse und der z-Achse sind getrennt voneinander zu betrachten. Eine Änderung in der Größe der Grundfläche (x-, y-Achse) würde unter Umständen eine Verschneidung mit benachbarten Gebäuden nach sich ziehen, was zu unerwünschten Visualisierungseffekten führen kann. Eine Änderung in der Höhe streckt das Gebäude, es wird verzerrt, die Präsenz in der Darstellung jedoch erhöht. Wird die Variable **Farbe** auf ein Gebäude angewandt, bedeutet dies, dass alle Gebäudeflächen die gleiche Farbe besitzen. Eine Unterscheidung in Fassaden und Dachflächen wäre in dem Fall nicht mehr gegeben. Die Transparenz lässt ein Gebäude durchscheinend wirken, was den Blick auf verdeckte Gebäude frei macht, den Grad der Informationsdichte jedoch erhöht (Abbildung 4-10). Werden Gebäude durch Stereotypen ersetzt kommt das einer Anwendung der Variablen **Form** gleich. So lässt sich auf Gebäude hinweisen es kann jedoch der Charakter der Stadt verloren gehen, die Verteilung einzelner Gebäude aber hervorgehoben werden.

Zur angesprochenen Unterscheidung zwischen Dach- und Fassadenflächen lassen sich zusätzlich die Variablen Helligkeit und Sättigung einsetzen. Somit kann die Dachfläche in

ihrer Helligkeit dunkler oder satter dargestellt werden. Hierdurch erreicht man eine gute Unterscheidung. Dieses Vorgehen birgt allerdings den Nachteil, dass zwei Farben für ein Attribut oder eine Kategorie in der Darstellung stehen würden, pro Kategorie würden somit zwei Farben eingesetzt werden. Ist die Anzahl der Kategorien gering und der Abstand zwischen den Farben groß genug ist dieser Nachteil von untergeordneter Bedeutung, da dennoch eine eindeutige Zuordnung möglich wäre.

Die Einsatzbereiche der oben vorgestellten abstrakten, informationsreduzierten Darstellung sind schon in Kapitel 5 angeklungen, sollen in dem folgenden Kapitel 7 an konkreten Beispielen verdeutlicht und beschrieben werden.

7. Prototypische Umsetzung nutzerorientierter Stadtmodell Darstellungen

7.1 Resümee zu den Kapiteln 5 und 6

Die kartographischen Einflüsse, die Einflüsse des Graphik-Design, die Kognitiven Einflüsse und die Einflüsse aus der Usability-Studie sollen in Handlungsanweisungen für die Darstellungen von nicht-photorealistischen dreidimensionalen Stadtmodellen münden. Hierfür wird ein Variablensystem vorgestellt. Die Zweck-Nutzer Kombinationen dienen als Anhaltspunkte für die Gestaltung der Stadtmodellvisualisierungen. Das Stadtmodell nimmt in diesen Kombinationen folgende Rollen ein (Tabelle 6-1):

- Nutzung des Stadtmodells als Informationssystem bzw. Navigationshilfe,
- zur Gegenüberstellung verschiedener Zustände und Varianten von neuer und alter Bebauung, um verschiedene Einflüsse auf die Gestalt des Bestandes beurteilen zu können,
- zur Sichtbarmachung neuer Gestaltung und Bauvorhaben als Überzeugungswerkzeug in einer Bürgeranhörung,
- zur Vermittlung der Struktur einer Stadt, wie z.B. die Verteilung von Wohn-, Gewerbe- und Industriegebäuden.

Diese Rollen resultieren in verschiedenen Darstellungen, die mit einem Variablensystem visualisiert werden sollen. Das Variablensystem soll für eine abstrahierende, illustrative, nicht-photorealistische Darstellung ausgelegt sein. Die Realität, die ansonsten versucht wird mit Stadtmodellen wiederzugeben, bleibt in diesem Fall außen vor.

Abschnitt 6.3 zeigt die Variablen auf, die sich auch im Dreidimensionalen für die geometrischen Primitive Punkt/Knoten, Linie/Kante und Fläche sowie aus ihnen zusammengesetzte Objekte (Gebäude) einsetzen lassen, um ein Stadtmodell mit einem nicht-photorealistischen Eindruck zu versehen. In Betracht gezogen werden muss, allerdings noch die kleine Darstellungsfläche mobiler Geräte, welche die Visualisierung entscheidend beeinflusst. Der Abstraktion und der Informationsdichte kommen auf unterschiedlichen Ebenen besondere Bedeutungen zu. Der Abstraktion als inhärentes Merkmal des Nicht-Photorealismus und der Informationsdichte als den Daten innewohnender Aspekt.

Die Kapitel 5 und 6 dienen somit als wichtige Grundlage auf denen die in diesem Abschnitt vorgestellten Stadtmodellvisualisierungen beruhen.

Die Abbildungen innerhalb dieses Kapitels wurden unter Zuhilfenahme verschiedener Modellierungs- und Zeichenprogramme erzeugt. Die Zeichnungen zur beispielhaften Visualisierung der graphischen Variablen in der Anwendung für Stadtmodell Darstellungen wurden mit dem Programm Adobe Illustrator® (Version 5.1) erstellt. Die dreidimensionalen Szenen, welche einen größeren Ausschnitt aus einem Stadtmodell repräsentieren wurden für die Visualisierung in diesem Abschnitt mit dem Programm Trimble SketchUp® Pro (Version 8) modelliert und zur Veranschaulichung als Abbildungen exportiert.

7.2 Ein Variablensystem für nicht-photorealistische Stadtmodell Darstellungen

Das Variablensystem setzt sich aus den schon bekannten graphischen Variablen der traditionellen Kartographie und den Erkenntnissen aus der visuellen Forschung und den Kognitionswissenschaften zusammen. Die graphischen Variablen werden auf die geometrischen Primitive angewandt, aus denen sich die Gebäude und letztendlich die Stadt zusammensetzt. Zusätzlich müssen die Gebäude in bestimmten Anwendungsfällen noch weitere Informationen repräsentieren. Eine Identifizierung potentiell nutzbarer Variablen für die Visualisierung von nicht-photorealistischen Stadtmodellen findet sich in Abschnitt 6.3. Bedingt durch die Eigenschaften der geometrischen Primitive lassen sich nicht alle graphischen Variablen gleichgut für die Visualisierung semantischer Informationen einsetzen (Tabelle 6-2).

Die Geländeoberfläche, wenn sie auch zu großen Teilen in der Stadt durch Gebäude bedeckt ist, muss bei Stadtmodellen berücksichtigt werden. Somit wird weitere Struktur und Information in das Modell hineingebracht. Hierzu werden die Flächenfarben aus dem ATKIS-Signaturenkatalog verwendet (Abbildung 6-1). Dieser ist in erster Linie für die zweidimensionale Kartographie entwickelt worden. Hierbei ist zu beachten, dass die Differenzierung für die mobile Darstellung nicht zu kleinteilig sein darf, sodass die Unterteilung hier auf Parkflächen, Wiesenflächen und Wasserflächen reduziert wurde. Hinzu kommt die Unterscheidung in Wohn- und Gewerbeflächen, wobei diese Flächen, abhängig von der Dichte der Bebauung zu großen Teilen nicht sichtbar sein werden.

Straßenflächen strukturieren und teilen eine Stadt in verschiedene Bereiche. Für diese Flächen bietet es sich ebenso an, eine Farbgebung zu finden, welche der Bedeutung der Straße als einteilendes Element gerecht wird. In der topographischen Kartographie werden hierzu Gelb-, Orange- und Rottöne verwendet, die eine große Signalwirkung entfachen und von den eigentlichen Aufgaben (vgl. Tabelle 6-1 in Abschnitt 6.1) des Stadtmodells ablenken. Für Straßenflächen wird ein helles Grau empfohlen, da es optisch im Hintergrund bleibt, durch die Summe an Straßen jedoch noch Beachtung findet und sich an der natürlichen Farbgebung von Asphalt orientiert. Hierzu lässt sich anmerken, je dunkler die Farbe desto dominanter wirkt sie.

Als Grundlage für die Stadtmodelle lassen sich

- Grüntöne für Park- und Wiesenflächen,
- ein helles Grau für Straßenflächen,
- hellgrau für Gewerbeflächen sowie
- ein helles Rot für Wohnflächen

festhalten. Die Straßenflächen wären gegenüber den Gewerbeflächen etwas dunkler einzufärben. Der Unterschied muss so groß sein dass er auch auf dem mobilen Gerät und in ablenkenden Umgebungen wahrnehmbar ist.

Für brachliegende Flächen kann auf die aus der topographischen Kartographie bekannten Farbtöne ausgewichen werden. Wichtig ist, dass auch nicht von Bebauung bedeckte Fläche eine Signaturierung in Form von Farbe erhalten sollte, um ein homogenes Bild zu erhalten.

In die neuen Darstellungsformen der Kartographie fließen somit Erfahrungen aus der topographischen Kartographie ein. Anhand der verschiedenen Rollen, die ein Stadtmodell

in unterschiedlichen Zweck-Nutzer Kombinationen einnehmen kann soll die Eignung der graphischen Variablen aufgezeigt werden.

7.2.1 Einsatz der graphischen Variablen in den Zweck-Nutzer Kombinationen

In der traditionellen oder topographischen Kartographie hat sich eine Reihe von graphischen Variablen etabliert (Abschnitt 2.3.2). Tabelle 6-2 zeigt, welche graphischen Variablen für welche geometrischen Primitive geeignet sind und welche sich für die Anwendung auf Objekte eignen. Im Folgenden wird der Einsatz der Variablen in den verschiedenen Rollen (Tabelle 6-1) untersucht und mit symbolhaften Beispielabbildungen visualisiert.

Abbildung 7-1 zeigt exemplarisch einen Ausschnitt aus dem Stadtmodell, welches zur Veranschaulichung der Zweck-Nutzer Kombinationen mit Trimble SketchUp® Pro erzeugt wurde. In der Abbildung sieht man deutlich die Flächenfarben gemäß Abbildung 6-1. Die Wohnbauflächen sind mit einem hellen Rotton kenntlich gemacht, die Park- und Wiesenflächen mit einem Grünton und Wasserflächen mit einem Blau. Gewerbeflächen finden sich in einem Grauton wieder, wie die Straßen auch. In dieser Abbildung sind die Gebäude noch an keine Rolle angepasst, es fehlt somit noch die farblich Ausgestaltung wie die weitere Anbringung von Konturen und Fassadendetails.

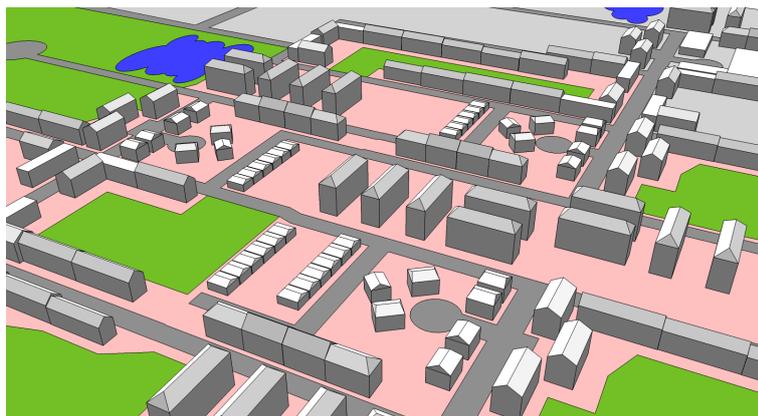


Abbildung 7-1: Ausschnitt aus dem Basis-Stadtmodell welches zur Veranschaulichung der Zweck-Nutzer Kombinationen erzeugt wurde. Die Nutzung wurde entsprechend der Abbildung 6-1 für den Boden vorgenommen.

7.2.1.1 Zweck-Nutzer Kombination: Informationsgewinnung, Stadtbürger/Tourist (Rolle 1a)

Das Stadtmodell soll als Informationssystem genutzt werden, es muss für diese Rolle so aufbereitet werden, dass es die Gebäude enthält, die eine Identifizierung der virtuellen und der realen Gebäude ermöglichen. Die Gebäude werden allgemein dargestellt. Dies bedeutet, dass jedes Gebäude ein einheitliches visuelles Gewicht besitzen soll, sie aber trotzdem noch voneinander unterscheidbar und identifizierbar sein müssen. Die Fassade sollte generalisiert dargestellt werden (Abschnitt 3.6.4.3).

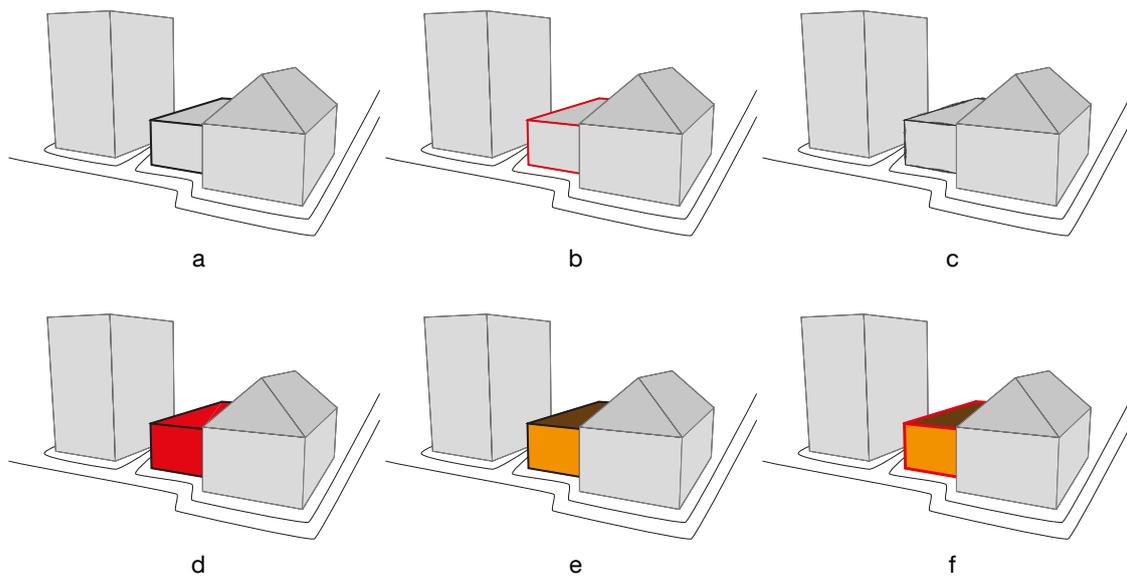


Abbildung 7-2: Verschiedene Anwendungen der graphischen Variablen Linienstärke, Farbe und Form auf die Konturen und Farbe auf die Fassadenflächen für die Rolle 1a

Auf der topographischen Kartographie basierend, könnten ausgehend von den Flächenfarben für die Geländedarstellungen (Abschnitt 7.2) die Gebäude entsprechend der Karten in einem Rotton, mit dunkleren Dachflächen dargestellt werden. Als weitere Alternative könnten die Gebäude entsprechend ihrer dominanten Farbe in der Realität dargestellt werden. Zur besseren Unterscheidung zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäude bietet es sich an die nicht relevanten Gebäude in Graustufen und die relevanten Gebäude farbig darzustellen (Abbildung 7-2). Zur Unterscheidung zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäuden kommen noch die für diese Rolle wichtigen Informationen, wie touristische Highlights und deren Öffnungszeiten hinzu. Diese „Points of Interest (POI)“ müssen sich gegenüber den umliegenden Gebäuden absetzen und deutlich identifizierbar sein. Weiter soll es möglich sein, Hinweise zu der Art des Points of Interest oder auch weitere Informationen über diesen POI zu kommunizieren. Die Gestaltung der POI kann durch hervorgehobene Gebäudekonturen (Abbildung 7-2a – c) sowie eine angepasste Farbe erfolgen (Abbildung 7-2d – f). Die Gebäudekonturen können sowohl durch die Variable Größe (Abbildung 7-2a), Farbe (Abbildung 7-2b) oder Form (Abbildung 7-2c) erfolgen. Durch die Kombination zweier Variablen erhält man in diesem Fall eine bessere visuelle Wirkung. Die Kombination von farbigem Gebäude mit hervorgehobenen Konturen findet sich in Abbildung 7-2d, in Abbildung 7-2f wird ein farbiges Gebäude mit hervorgehobenen, farbigen Konturen kombiniert.

Für die gleichzeitige Visualisierung zweier Attribute wie Art der Attraktion (Museum, Kirchen, Werkstatt etc.) und Öffnungszeiten kann auf eine Signaturierung ausgewichen werden, so kann mit über den Gebäuden platzierten Signaturen bzw. Ikonen angezeigt werden, ob das relevante Gebäude geöffnet oder geschlossen ist (Abbildung 7-3b) auch kann so ein Hinweis auf die Art des Gebäudes gegeben werden (Abbildung 7-3a).

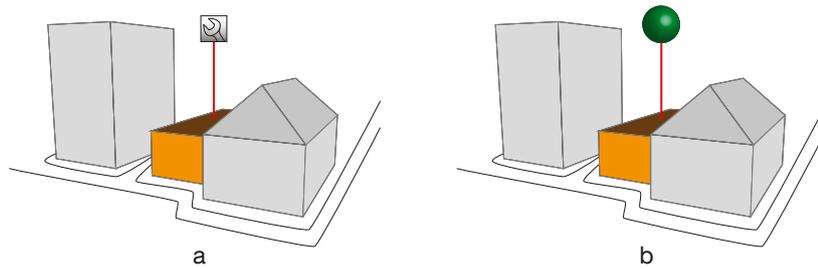


Abbildung 7-3: Verschiedene Varianten der Signaturierung in der Stadtmodellvisualisierung a) mit einem Symbol zur Anzeige der Art des Gebäudes und b) ein Symbol als Identifikator für z.B. Öffnungszeiten.

Zusammenfassend lassen sich für diese Rolle die folgenden Variablen einsetzen und Gestaltungshinweise finden.

- Nicht relevante Gebäude sollen sich eindeutig von relevanten Gebäuden unterscheiden und visuell eher in den Hintergrund treten.
- Relevante Gebäude sollen durch eine verstärkte Konturierung hervorgehoben und können farblich an eine (touristische) Bedeutung angepasst werden. Zur Konturierung können die Variablen Größe, Farbe und Form zum Einsatz kommen.
- Weitere Attribute wie z.B. Öffnungszeiten können durch eine geeignete Signaturierung angezeigt werden.
- Das Gelände sollte entsprechend der Nutzung Park, Wiese und Straße eingefärbt werden.
- Als Variablen kommen für Kanten die Größe, Farbe und Form und für die Fassadenflächen die Farbe zum Einsatz. Die Visualisierung einzelner Knoten kommt hier nicht zum Einsatz (Abbildung 7-2)

Durch die Berücksichtigung der oben genannten Gestaltungshinweise und der in Tabelle 7-1 genannten graphischen Variablen ist es möglich den Nutzer bei der Informationsgewinnung zu unterstützen. Die Identifikationsleistung zwischen virtuellem Gebäude und der Realität, kann durch an dem Originalgebäude orientierte Fassadeneinfärbung erreicht werden. Zur besseren Unterscheidung zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäuden können diese in Graustufen dargestellt werden, zusammen mit der farbigen Darstellung relevanter Gebäude und hervorgehobenen Konturen wird für den Nutzer ein gute Darstellung des Stadtmodells erzeugt.

Tabelle 7-1: Zusammenstellung der graphischen Variablen in Rolle 1a

Variable	Kante	Fläche	Gebäude (Objekt)
Größe	•		
Farbe	•	•	•
Form/Muster	•		

In den nachfolgend aufgeführten beispielhaften nicht-photorealistischen Stadtmodell Darstellungen für die Zweck-Nutzer-Kombination Informationsgewinnung/Tourist sind die relevanten Gebäude in grün dargestellt (Abbildung 7-4). Hiermit können z.B. naturkundliche Museen angesprochen werden. Durch diese Farbgebung wird die Assoziation in Richtung Natur, Umwelt geleitet. Die Gebäude welche dem Wohnbereich zuzuordnen sind haben eine rote Färbung. Die Gewerbegebäude sind in grau eingefärbt, dies ist aus den topographischen Karten bekannt und kann die Identifikation unterstützen (Abbildung 7-4a). In Abschnitt 7.2.1.1 ist vorgeschlagen worden, die nicht relevanten Gebäude einheitlich grau mit dunkler abgesetzten Dachflächen darzustellen (Abbildung 7-4b), dies erhöht den Kontrast zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäuden und kann zu einer besseren Identifikationsleistung des Nutzers beitragen. In Abbildung 7-4b verschwimmen die Industrie Gebäude mit den nicht relevanten Gebäuden, sodass als Orientierung hier die Farbgebung des Geländes mit herangezogen werden muss.

Der Blickwinkel in Abbildung 7-4 ist so gewählt, dass beide relevanten Gebäude vorhanden sind. Die relevanten wie auch die nicht relevanten Gebäude sind leicht konturiert und gut voneinander zu unterscheiden.

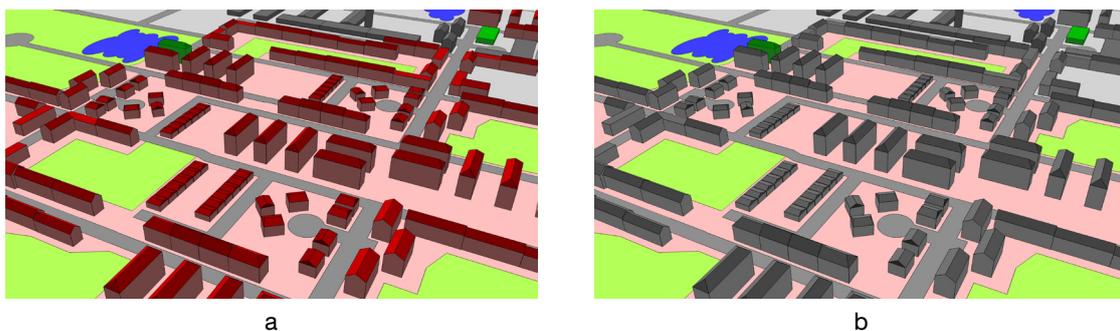


Abbildung 7-4: Eine Überblicksansicht zu der Zweck-Nutzer Kombination, die relevanten Gebäude sind in dieser Ansicht gut zu erkennen (grüne Gebäude), das kann in anderen Perspektiven anders sein.

Während die Abbildung 7-4 einen Überblick über die gesamte Szene sowohl mit farbigen wie auch mit graustufen Gebäuden gibt, finden sich in Abbildung 7-5 und Abbildung 7-6 vier repräsentative Darstellungen des Stadtmodells aus einer, der Fußgängerperspektive angenäherten Ansicht.

In Abbildung 7-5a sind aufgrund des Standpunktes des Nutzer die interessierenden Gebäude verdeckt und somit nicht sichtbar. Eines der relevanten Gebäude ist in Abbildung 7-5b „gerade so“ oberhalb der anderen Gebäude zu erkennen. In der Abbildung 7-5c ist eines der relevanten Gebäude prominent im Vordergrund wahrnehmbar jedoch fehlt das zweite Gebäude oder ein Hinweis auf dieses. In Abbildung 7-5d finden sich die beiden relevanten Gebäude. Es ist deutlich zu erkennen, dass die relevanten Informationen nicht aus allen Perspektiven wahrgenommen werden können. Dies ist insbesondere durch Verdeckungen anderer Gebäude bedingt. Um diesem Nachteil entgegenzuwirken, kann auf Signaturen zurückgegriffen werden die in Verbindung mit dem Gebäude stehen und aus vielen Blickwinkeln sichtbar sein sollten (vgl. Abschnitt 7.3.1 und Abbildung 7-26).

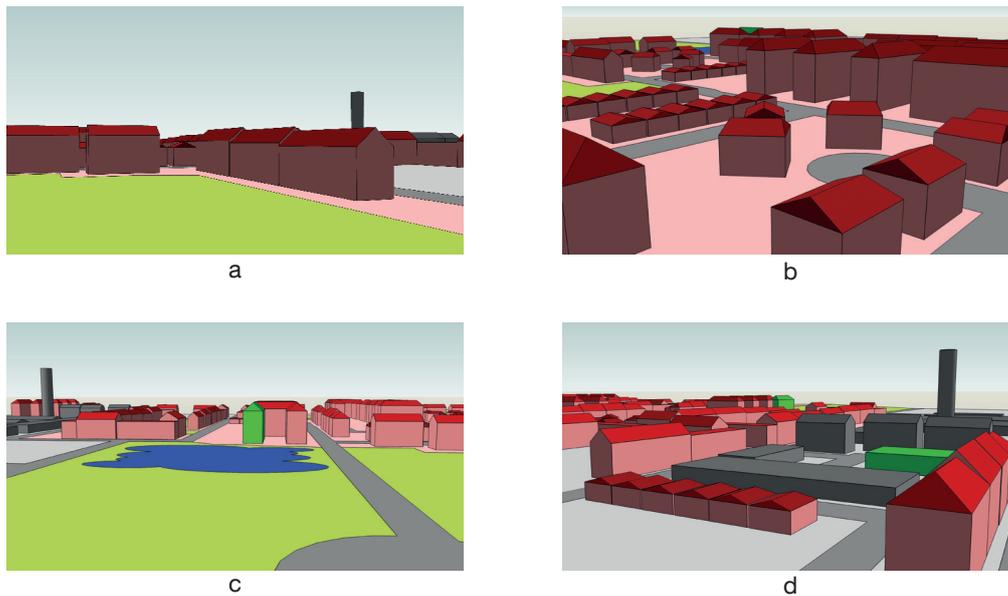


Abbildung 7-5: Abbildungen der Szene mit farbigen Gebäuden. a) die relevanten Gebäude sind verdeckt, b) eines der relevanten Gebäude ist „gerade so“ zu erahnen, c) eines der interessierenden Gebäude ist deutlich im Vordergrund zu erkennen und d) beide relevanten Gebäude sind sichtbar.

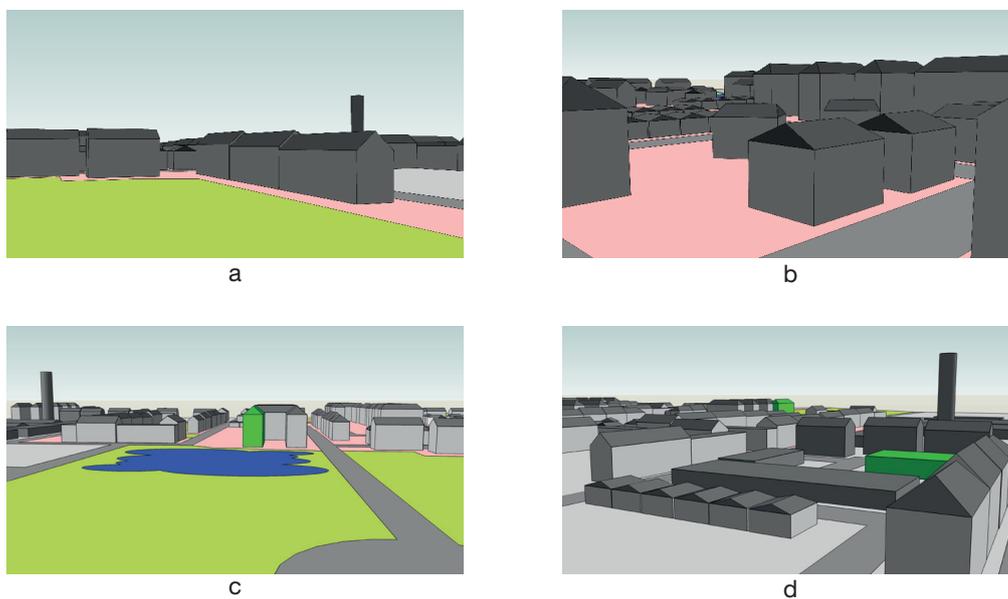


Abbildung 7-6: Abbildungen der Szene mit Graustufenarstellung der Gebäude. a) die relevanten Gebäude sind verdeckt, b) eines der relevanten Gebäude ist „gerade so“ zu erahnen, c) eines der interessierenden Gebäude ist deutlich im Vordergrund zu erkennen und d) beide relevanten Gebäude sind sichtbar

Die Abbildung 7-5 und die Abbildung 7-6 unterscheiden sich hinsichtlich der Farbgebung der nicht relevanten Gebäude. Die einheitliche Graustufendarstellung dieser Gebäude erhöht den Kontrast zu den relevanten Gebäuden und ermöglicht somit eine bessere Identifikation.

Die Blickwinkel, die sich nahe der Fußgängerperspektive befinden, wie z.B. in Abbildung 7-5 und Abbildung 7-6 seien hier und in folgenden Abschnitten beispielhaft gewählt. Applikationen zur Darstellung und Betrachtung dreidimensionaler Stadtmodelle ermöglichen es dem Nutzer das Modell aus beliebigen Blickwinkeln zu betrachten. Somit ist es dem Nutzer freigestellt insbesondere in Abbildung 7-5b und Abbildung 7-6b einen Blickwinkel zu wählen, der eine bessere Sicht auf die ihn interessierenden Gebäude gewährleistet.

7.2.1.2 Zweck-Nutzer Kombination: Informationsgewinnung, Stadtplaner (Rolle 1b)

Der Stadtplaner soll dabei unterstützt werden einen Eindruck von einer Stadt zu erhalten, in dem ihm die Struktur und Verteilungen in der Stadt präsentiert werden. Das Stadtmodell muss so aufbereitet werden, dass es alle Gebäude enthält, um eine Verbindung zwischen realen und virtuellen Gebäuden herzustellen. Die Gebäude sollten ein einheitliches visuelles Gewicht erhalten, als zusätzliche Information sollen z.B. die Nutzungen der Gebäude mit angezeigt werden, um einen Eindruck über deren Verteilung zu erhalten. Die Gebäude sollten sich voneinander unterscheiden lassen andererseits können Gebäude gleicher Nutzung auch als zusammengehörig empfunden werden (Gesetz der Nähe: Abschnitt 4.2.1) hierdurch ergibt sich eine gröbere, besser wahrzunehmende Struktur in der Darstellung. Hinzu kommt, dass vereinfachte Fassaden die Übersichtlichkeit unterstützen.

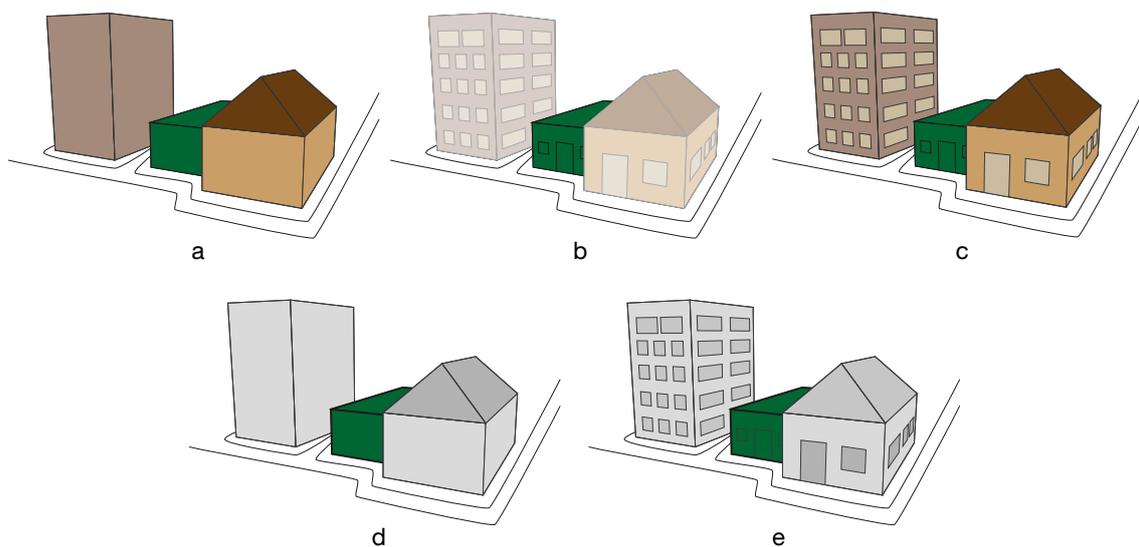


Abbildung 7-7: Verschiedene Anwendungen graphischer Variablen und unterschiedliche Detaillierungsgrade für die Rolle 1b

Die Nutzung der Geländeoberflächen wird wie in den vorigen Rollen auch über die Flächenfarben Grün für Park und Wiese sowie grau für die Straßen sichergestellt. Die Gebäude sollten einheitlich in ihrer Farbgestaltung und ihrem Grad der Detaillierung gestaltet sein, damit das Thema bzw. die Struktur besser hervortritt (Abbildung 7-7). Eine Konturierung kann angebracht werden, um zwischen den einzelnen Gebäude zu differenzieren oder, um die relevanten Gebäude hervorzuheben (Abbildung 7-7 d und e). Die Variablen Linienstärke, Farbe und Form können eingesetzt werden, wobei die Farbe und Form in dieser Rolle eine untergeordnete Bedeutung zur Hervorhebung aufweisen. Die Konturfarbe könnte mit der Farbe der Fassaden negativ interagieren und die Form bietet nicht die Eindeutigkeit wie die Linienstärke. Abbildung 7-7a zeigt von der Farbgebung her an der Realität orientierte nicht relevante Gebäude mit einem geringen Detaillierungsgrad. Abbildung 7-7 b und c zeigen Gebäude mit mehr Fassadendetails, zur Identifikation der virtuellen Darstellung mit der Realität bieten sich diese Darstellungen an. In Abbildung 7-7b ist die Fassadenfarbe über die Variablen Sättigung und Helligkeit zur besseren Differenzierung zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäuden angepasst worden. Die Abbildung 7-7d und e unterscheiden sich untereinander hinsichtlich ihrer Detaillierungsgrades. Gegenüber den restlichen Teilabbildungen sind die nicht relevanten Gebäude in Graustufen dargestellt. Zur Strukturerkennung sollten die relevanten Gebäude eine, ihrer Nutzung entsprechende assoziative Farbgebung erhalten. Zur besseren Hervorhebung können die relevanten Gebäude noch zusätzlich konturiert sein (Abbildung 7-7d und e).

Die Variablen und Gestaltungshinweise, die zum Einsatz in dieser Rolle kommen sollen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Für die Konturen sollte vornehmlich die Variable Linienstärke (Größe) eingesetzt werden, nachrangig die Variablen Farbe und Form.
- Die Variablen Farbe, Sättigung und Helligkeit sind die bedeutenden für die Fassaden.
- Alle Gebäude sollen ein ähnliches visuelles Gewicht aufweisen.
- Die Farbgebung sollte für die nicht relevanten Gebäude einheitlich sein, für die Dachflächen sollte ein dunklerer Farbton gewählt werden.
- Die relevanten Gebäude sollten entsprechend ihrer Nutzung eine assoziative Farbgebung aufweisen

Das Stadtmodell dient hier der Informationsgewinnung, es soll eine Verteilung bzw. Struktur dargestellt werden, somit sollen die relevanten Gebäude sich gegenüber den nicht relevanten Gebäuden deutlich absetzen, die z.B. verschiedenen Nutzungen sollen in den Vordergrund treten. Um zwischen den verschiedenen Nutzungen differenzieren zu können müssen sie untereinander einen genügend großen Kontrast aufweisen. Die eingesetzten graphischen Variablen ähneln auch in dieser Rolle denen der vorher angeführten Rollen, die ein Stadtmodell als Informationssystem einnehmen kann. In Tabelle 7-2 findet sich eine Zusammenstellung der angewandten graphischen Variablen.

In der Zweck-Nutzer Kombination Informationsgewinnung und Stadtplaner, soll mit Hilfe des Stadtmodells die Struktur und Verteilung von verschiedenen Nutzungen innerhalb der Stadt aufgezeigt werden. Das Stadtmodell kann zur Entscheidungsfindung beitragen und die Prozesse in der Stadtplanung unterstützen. Den Gebäuden wird eine ihrer Bedeutung und Nutzung entsprechende assoziative Farbgebung zu Teil.

Tabelle 7-2: Zusammenstellung der graphischen Variablen in Rolle 2b

Variable	Kante	Fläche	Gebäude (Objekt)
Größe	•		
Farbe	•	•	•
Form/Muster	•		
Sättigung		•	•
Helligkeit		•	•

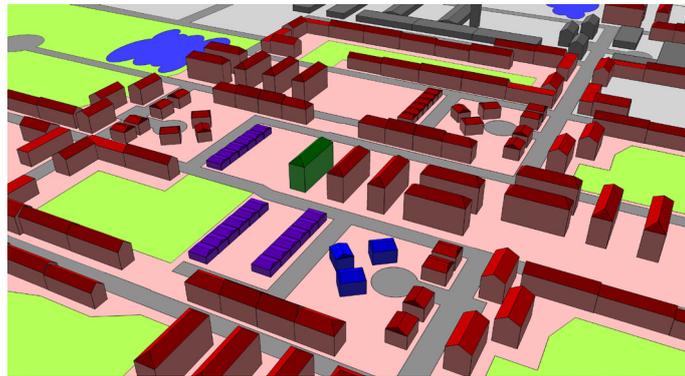


Abbildung 7-8: Übersichtsabbildung zur Verteilung der Nutzungen in der Stadt

Neben den Farben Rot und Grau für Gebäude, die dem Wohnen dienen und solchen die gewerblichen Zwecken vorbehalten sind kommen noch weitere Farben hinzu. Lila für Gebäude, die Einkaufsmöglichkeiten beherbergen. Das Grüne Gebäude repräsentiert in diesem Fall die Polizei und in blau eingefärbten Gebäuden ist die örtliche Verwaltung untergebracht. Abbildung 7-8 zeigt somit in einer Übersicht die Verteilung der einzelnen Nutzungen über die Stadt verteilt. Es ließen sich ohne weiteres noch andere Nutzungen hinzufügen. Die Farbgebung soll, wenn möglich assoziative gewählt werden und nicht mit schon im Modell vorhandenen Farben im Konflikt stehen. Die verschiedenen Nutzungen müssen mit ihren zugehörigen Farbcodierungen bekannt sein, um aus einer solchen Visualisierung einen Mehrwert zu erzielen. Die in der traditionellen Kartographie gebräuchliche Legende kann diesen Mangel beheben, in dem sie bei Bedarf in das Display eingeblendet wird (Abbildung 7-9b). Eine weitere Möglichkeit diesem Nachteil entgegen zu wirken besteht in der Nutzung der Interaktionsmöglichkeiten. Durch „zeigen“, „klicken“ oder „tippen“ auf ein entsprechendes Gebäude können Informationen über dieses interaktiv in die Visualisierung eingeblendet werden (Abbildung 7-9a).

Die Farbgestaltung des Geländes ist wie weiter oben schon beschrieben, an eine Farbauswahl aus der topographischen Kartographie angelehnt. Zu den in rot und grau gehaltenen Gebäuden könnten alternativ für die nicht relevanten Gebäude ebenfalls wieder eine Graustufendarstellung in Betracht kommen, um den Kontrast zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäuden zu erhöhen. Abbildung 7-10 zeigt die Stadt wieder aus den vier bekannten Perspektiven, die für diese Rolle jedoch eine untergeordnete Bedeutung spie-

len. Ein Blick auf die Stadt aus einem erhöhten Blickwinkel würde den Stadtplaner in diesem Szenario besser unterstützen. Dem Stadtplaner soll die Verteilung unterschiedlicher Nutzungen über die Stadt dargeboten werden, um ihn in seiner Entscheidungsfindung zu unterstützen. Aus diesem Grunde steht die Überblicksinformation hier im Vordergrund, wie in Abbildung 7-8 und Abbildung 7-9 zu sehen ist. Mit den einblendbaren Informationen über die Nutzung zu den Gebäuden (Abbildung 7-9) ist eine schnelle Erfassung der Verteilung möglich.

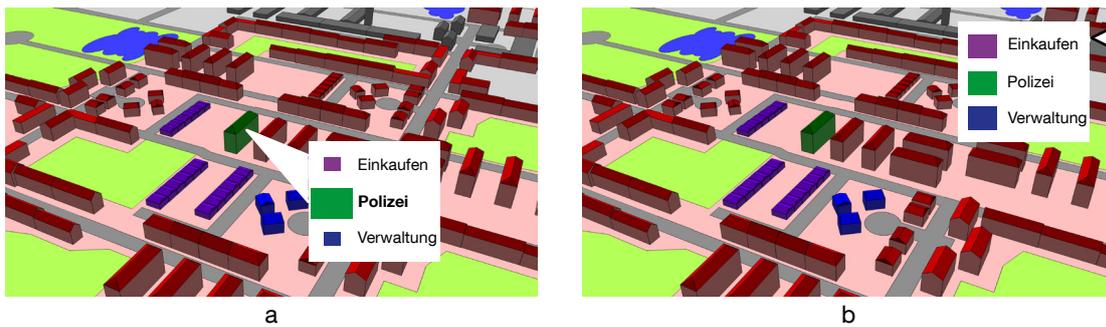


Abbildung 7-9: Beispiele für die Darstellung von Legenden in Stadtmodellardarstellungen

Ein ähnlicher Ansatz zur Darstellung der Gebäude Nutzung in dreidimensionalen Stadtmodellen findet sich auch in (Jahnke et al., 2011a). Dort werden ebenso die Farbe, und die Linienstärke (Größe) der Kanten zur Kenntlichmachung der relevanten Gebäude benutzt.

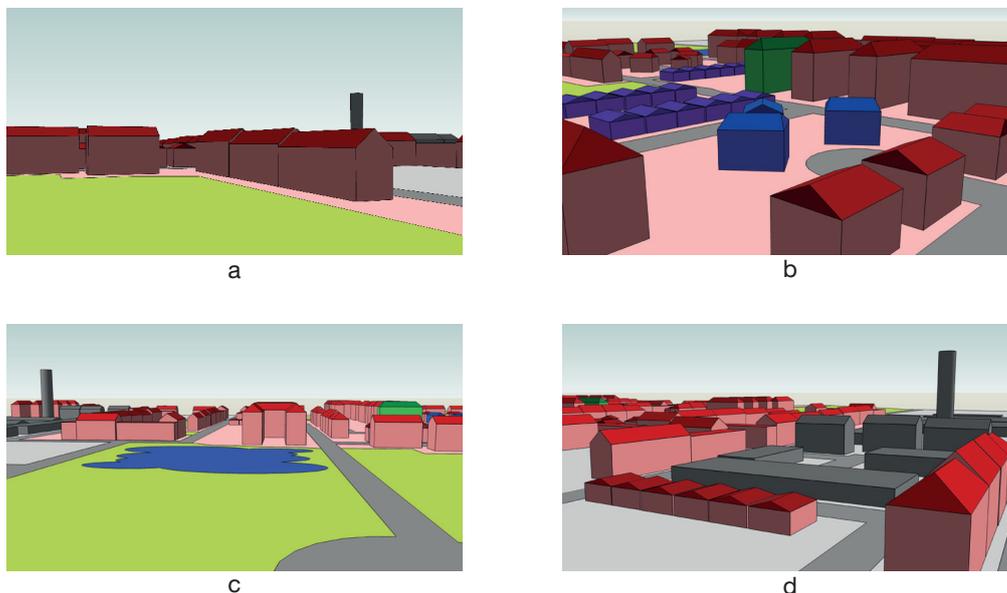


Abbildung 7-10: a) zeigt nur Gebäude die dem Wohnen dienen, b) zeigt Wohngebäude, Einkaufsmöglichkeiten, Verwaltungsgebäude sowie ein Gebäude in dem die Polizei beherbergt ist.

Wie in Abbildung 7-11 zusehen sind die relevanten Gebäude entsprechend ihrer Nutzung eingefärbt. Die Dachflächen sind nicht farblich abgehoben worden und auch als Boden liegt hier ein Luftbild zugrunde, sodass sich eine hybride Darstellung aus Photorealismus und Nicht-Photorealismus ergibt.



Abbildung 7-11: Vergleich photorealistischer (a) und nicht-photorealistischer (b) Darstellung aus Jahnke et al. (2011)

7.2.1.3 Zweck-Nutzer Kombination: Informationsrepräsentation, Stadtbürger/Tourist (Rolle 2a)

Das Stadtmodell soll zur Informationsrepräsentation genutzt werden. Ziel ist es den Stadtbürger über eine Neubaumaßnahme zu informieren. Hierbei soll insbesondere auf Vorzüge der gewählten Variante hingewiesen werden. Der Stadtbürger muss das Modell mit der Realität zur Deckung bringen können, das heißt, dass der Grad Abstraktion nicht zu hoch sein darf und alle Gebäude ein ähnliches visuelles Gewicht aufweisen sollen (vgl. Abbildung 7-12a und b). Die neuen Gebäude sollen sich vom Bestand abheben, damit der Fokus deutlich wird, sie dürfen dabei jedoch nicht zu dominant wirken.

Für diese Rolle bedarf es eines ausgewogenen Einsatzes der Variablen. Die Gebäude sollen konturiert sein, um sie voneinander differenzieren zu können. Die Farbe der Fassaden sollte der dominierenden Farbe der realen Fassaden entsprechen (Abbildung 7-12). In dieser Rolle sollte das Stadtmodell einen homogenen Abstraktionsgrad aufweisen. Das Identifikationspotential der virtuellen Darstellung mit der Realität muss für diese Rolle vorhanden sein. In Abbildung 7-12a ist die Farbgebung der Gebäude an der Realität orientiert, eine Unterscheidung in neue Gebäude (relevant) und vorhandenen Bestand (nicht relevant) ist hier kaum möglich. Im Gegensatz hierzu stellt Abbildung 7-12c den vorhandenen Bestand mit einer anderen Linienform dar, sodass die Unterscheidung zwischen neuem Gebäude und vorhandenem Bestand möglich wird. Diese Unterscheidung kann auch durch eine Konturierung des neuen Gebäudes erreicht werden (Abbildung 7-12d bis f) oder durch eine Anpassung der Helligkeit und der Sättigung der Fassadenfarben für den vorhandenen Bestand (Abbildung 7-12b und e). Farbige Konturen zur Hervorhebung des neuen Gebäudes kommen hier nicht zum Einsatz, um das visuelle Gewicht nicht noch zusätzlich auf das neue Gebäude zu lenken. Den Gebäudedarstellungen für diese Rolle wohnt ein hoher Grad der Detaillierung inne, um, wie schon angesprochen, den Unterschied zwischen Virtualität

und Realität aufzuzeigen aber nicht zu groß werden zu lassen. Die Geländefarben setzen sich auch in dieser Rolle aus dem Park- und Wiesengrün sowie dem Grau für die Straßen zusammen.

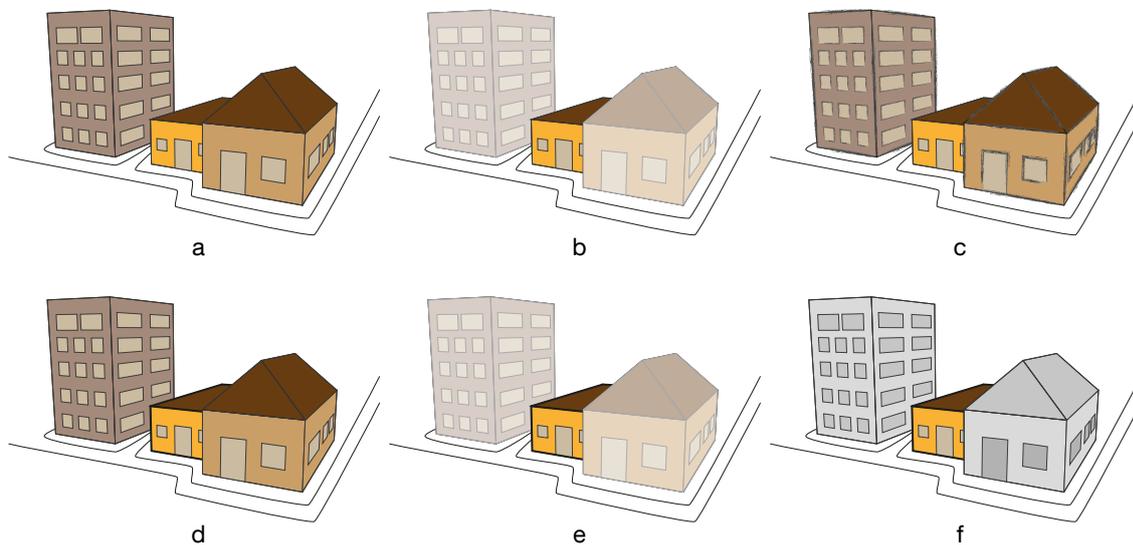


Abbildung 7-12: Verschiedene Anwendungen der graphischen Variablen auf die Konturen und Fassaden mit einem höheren Detaillierungsgrad der Gebäude für die Rolle 2a

Zusammengefasst lässt sich für den Gebrauch der Variablen und die anzuwendenden Gestaltungshinweise festhalten, dass

- für die Kanten in erster Linie die Variablen Größe und Form zum Tragen kommen, nachgeordnet auch die Farbe angewendet werden kann,
- die Fassaden entsprechend der dominierenden Fassadenfarbe (Farbe, Helligkeit, Sättigung) in der Realität eingefärbt werden sollen,
- die Gebäude einen geringeren Abstraktionsgrad aufweisen sollen, hier durch soll das Identifikationspotential der Stadtbürger aktiviert werden,
- die Gebäude konturiert sein sollen, um sie voneinander zu differenzieren.

Tabelle 7-3: Zusammenstellung der graphischen Variablen in Rolle 2a

Variable	Kante	Fläche	Gebäude (Objekt)
Größe	•		
Farbe		•	•
Form/Muster	•		
Sättigung		•	•
Helligkeit		•	•

Die Rolle der Informationspräsentation wird hier besonders herausgehoben, da sie an der Grenze zwischen Nicht-Photorealismus und Realismus angesiedelt ist. Wie schon angesprochen ist ein ausgewogenes Design hier von besonderer Bedeutung. Die in dieser

Zweck-Nutzer Kombination aus Informationsgewinnung und Tourist angewendeten Variablen sind Tabelle 7-3 zu entnehmen.

Die beispielhafte Visualisierung des Stadtmodells in dieser Zweck-Nutzer Kombination gestaltet sich ähnlich wie in der vorherigen. Das Stadtmodell soll die geplante Bebauung an den Bürger übermitteln und ihm die Wirkung der gewählten Variante zusammen mit der vorhandenen Bebauung aufzeigen. Die Gebäude in direkter Nachbarschaft zu dem neuen Gebäude weisen ebenfalls einen höheren Detaillierungsgrad auf und sind in einer der Realität entsprechenden Farbgebung gestaltet. Die weiter entfernt gelegenen Gebäude sind auch hier in einem Rotton mit dunkler abgesetzten Dachflächen gehalten (Abbildung 7-13a) oder in Graustufen mit ebenfalls dunkler abgesetzten Dachflächen (Abbildung 7-13b)

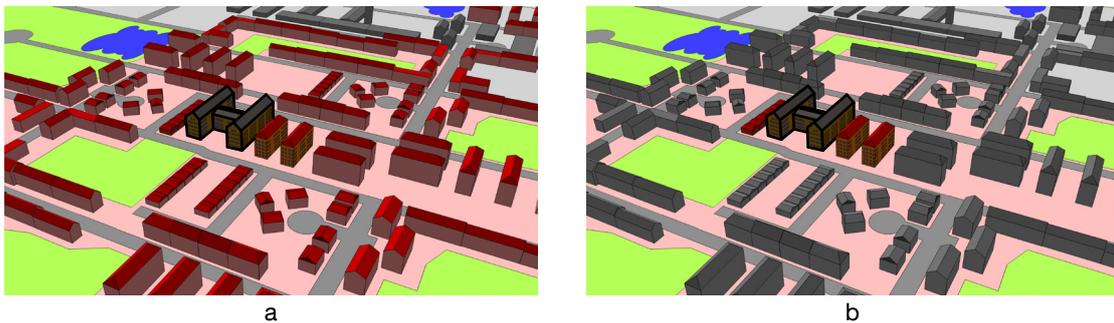


Abbildung 7-13: Übersichtsabbildung zur Informationspräsentation. Die Gebäude in direkter Nachbarschaft zu dem neuen Gebäude sind detaillierter dargestellt.

Durch die detaillierte Darstellung der zu dem relevanten Gebäude benachbarten Gebäude wird ein höheres LoD in die Darstellung integriert. Die weiter entfernt gelegenen Gebäude weisen deutlich weniger Details auf. Der Bereich um die Interessierenden Gebäude wird hervorgehoben wobei die Konturierung das neue Gebäude kennzeichnet.

In Abbildung 7-15a ist das zu bauende Gebäude nicht sichtbar, die Bürger aus diesem Teil der Stadt werden durch die neue Bebauung nicht beeinflusst. Abbildung 7-15b zeigt einen Überblick über das zu bauende und benachbarte Gebäude, der Detaillierungsgrad der Gebäude nimmt mit der Entfernung ab. Zur Abnahme des Grades der Detaillierung sei auf Abschnitt 3.6.3 (Level of Detail in Stadtmodellen) verwiesen, welches beschreibt, wie detailliert Gebäude in unterschiedlichen Entfernungen dargestellt werden können. Die Änderung des LoD geschieht in diesen Fällen abrupt. Abbildung 7-15b verdeutlicht sehr gut dieses Prinzip, die Fassadenelemente verschwinden von einem Gebäude zum nächsten plötzlich. Ändert sich der LoD kontinuierlich, dann erstreckt sich der Übergang von einem LoD zum nächsten über ein oder mehrere Gebäude. Abbildung 7-14 verdeutlicht das Prinzip des kontinuierlichen LoD-Überganges, der jedoch auch unter bestimmten Blickwinkeln als Tiefenhinweis (Abschnitt 4.2.2) interpretiert werden könnte.

Abbildung 7-15c und Abbildung 7-15d zeigen weitere Perspektiven, wie sich die neue Bebauung in das Stadtbild integriert. Der Bürger kann sich ein Bild über das zukünftige Aussehen der Stadt machen. Die Informationspräsentation die das Stadtmodell in dieser Rolle einnimmt kann den Bürger in seiner Meinungsbildung unterstützen.

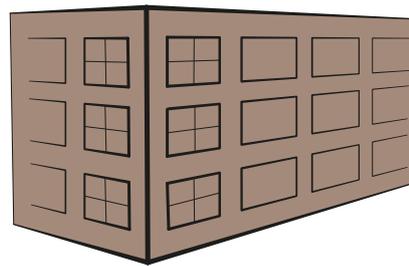
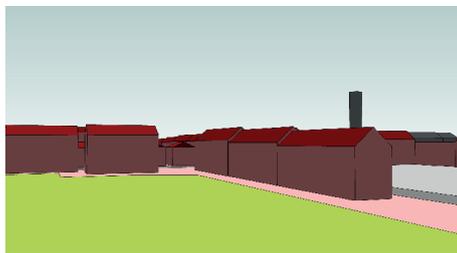


Abbildung 7-14: Änderung des Level of Detail (LoD) innerhalb eines Gebäudes



a



b



c



d

Abbildung 7-15: a) Perspektive aus der das neue Gebäude nicht sichtbar ist, b) Sicht auf das neue und umliegende Gebäude, c) Perspektive auf die Stadt mit geschlossener Baulücke, d) Sicht auf die Stadt über Industriegebäude hinweg auf das neue Gebäude.

7.2.1.4 Zweck-Nutzer Kombination: Informationspräsentation, Stadtplaner (Rolle 2b)

Das Stadtmodell soll als Informationssystem dem Stadtplaner zur Verfügung stehen. Der Stadtplaner soll beurteilen, wie sich verschiedenen Varianten neuer Gebäude in die vorhandene Bebauung integrieren. In diesem Fall wird das Stadtmodell nicht zwangsläufig in einem mobilen Nutzungskontext eingesetzt. Es muss eine Identifikation zwischen Realität und virtuellem Modell unterstützen. Die Gebäude bzw. die Informationen innerhalb des Stadtmodells um den relevanten Teil herum können detaillierter sein. Die Informationsdichte und der Grad der Abstraktion können mit der Entfernung zu dem relevanten Objekt oder Ort abnehmen. Das visuelle Gewicht der Gebäude nimmt somit ebenfalls mit der Entfernung ab (Abbildung 7-16).

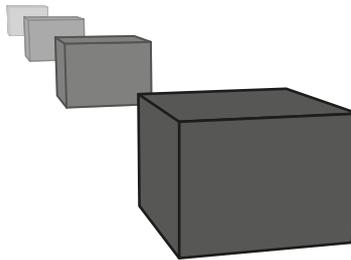


Abbildung 7-16: Reduzierung des visuellen Gewichtes von weiter entfernten Gebäuden
vgl. hierzu auch Abschnitt 4.2.2 (Tiefenhinweise)

Das Gelände kann mit, aus den topographischen Karten extrahierten und für die Stadtmodellvisualisierung als geeignet befundenen Farben dargestellt werden. Die Straßen in einem Grau und die Park- und Wiesenflächen in einem Grün. Die als Bestand zu deutende Bebauung kann in einem Rotton mit dunkleren Dachflächen dargestellt werden. Eine bessere Alternative wäre es die Gebäude entsprechend ihrer dominierenden Farbe in der Realität darzustellen. Zur Unterscheidung zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäuden sollte die Detaillierung der Gebäude herangezogen werden (Abbildung 7-17). Die relevanten Gebäude sollten eine höhere Detaillierung, als die umliegenden Gebäude, aufweisen. Abbildung 7-2a zeigt die Unterscheidung in relevante und nicht relevante Gebäude anhand des Detaillierungsgrades. Zusätzlich, um diese Differenzierung zu unterstützen können die relevanten Gebäude stärker konturiert sein (Abbildung 7-17d bis f) oder eine andere Linienform aufweisen (Abbildung 7-17c). Wie in Abbildung 7-17b und e dargestellt, können die Fassadenfarben der nicht relevanten Gebäude in ihrer Sättigung und Helligkeit angepasst werden, um eine deutlichere Differenzierung herbeizuführen. Durch eine Graustufendarstellung der nicht relevanten Gebäude und entsprechende Konturierung der relevanten Gebäude lässt sich eine sehr deutliche Differenzierung herbeiführen (Abbildung 7-17f). Für diese Rolle lässt sich festhalten, dass die Unterscheidung in relevante und nicht relevante Gebäude wenn möglich über den Grad der Detaillierung erreicht werden und mit der Konturierung als Unterscheidungsmerkmal sorgsam umgegangen werden sollte.

Für diese Rolle ergeben sich der Einsatz der folgenden Variablen und die entsprechenden Gestaltungshinweise.

- Für die Kanten kommen die Variablen Größe, Farbe und Form zum Tragen.
- Die Variablen Farbe, Sättigung und Helligkeit sind für die Fassaden geeignet, um die Unterscheidung in relevante und nicht relevante Gebäude herbeizuführen.
- Gebäude in der näheren Umgebung zu dem relevanten Ort sollen eindeutig identifizierbar sein.
- Die Gebäude in größerer Entfernung zu dem relevanten Gebäude können visuell in den Hintergrund treten.
- Das neue Gebäude sollte detailliert dargestellt werden, es darf einen gewissen Grad an Realismus enthalten.

- Die Konturen der Gebäude spielen eine untergeordnete Rolle, sollten zur Differenzierung einzelner Gebäude vorhanden sein und zur Differenzierung mit Bedacht eingesetzt werden.
- Das Gelände sollte entsprechend der Nutzung Park, Wiese und Straße gestaltet sein.

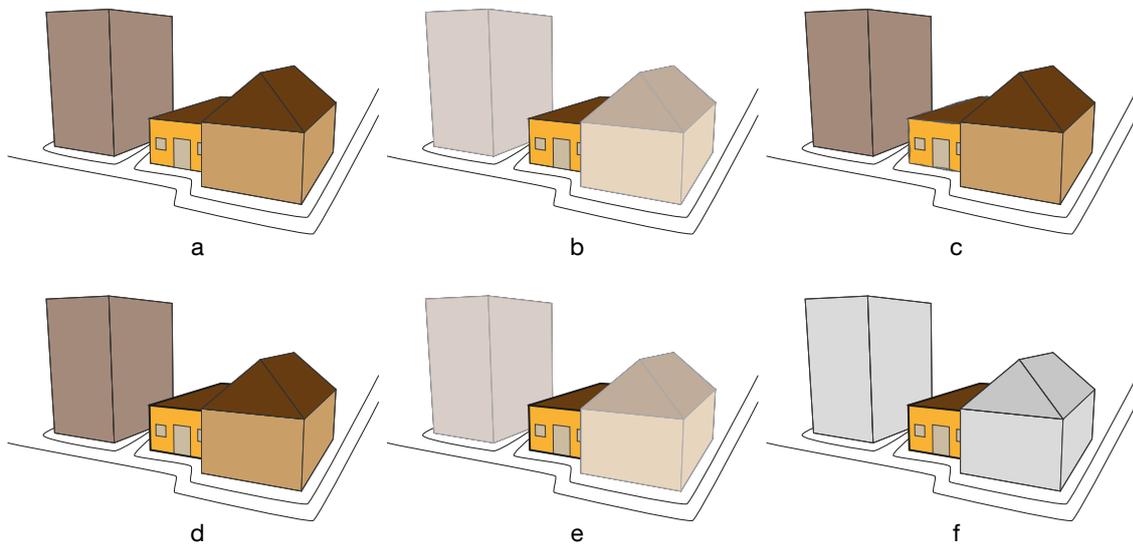


Abbildung 7-17: Verschiedene Anwendungen der graphischen Variablen Linienstärke, Farbe und Form auf die Konturen und Farbe, Helligkeit und Sättigung auf die Fassadenflächen für die Rolle 2b

Mit diesen Gestaltungshinweisen soll erreicht werden, dass der Fokus auf einen bestimmten Bereich gelenkt wird, der Grad der Abstraktion sich im gesamten jedoch in Grenzen bewegt, die einer Identifikation mit der Stadt nicht im Wege stehen. Es steht bei dieser Rolle die Informationsgewinnung des Stadtplaners im Vordergrund, der in seiner Entscheidungsfindung unterstützt werden soll. Tabelle 7-4 fasst die für diese Rolle angewendeten graphischen Variablen zusammen. Hierbei sei nochmals angemerkt, dass die Variablen Sättigung und Helligkeit eine besondere Rolle einnehmen, da sie mit der Variablen Farbe in sehr enger Beziehung stehen.

Tabelle 7-4: Zusammenstellung der graphischen Variablen in Rolle 2b

Variable	Kante	Fläche	Gebäude (Objekt)
Größe	•		
Farbe	•	•	•
Form/Muster	•		
Sättigung		•	•
Helligkeit		•	•

Die Informationspräsentation für einen Stadtplaner steht bei den folgenden beispielhaften Abbildungen im Vordergrund. Abbildung 7-18 zeigt auch hier einen Überblick über die gesamte Szene. Die Geländedarstellung entspricht der der vorherigen Zweck-Nutzer Kom-

bination. Zu Differenzierung vom vorhandenen Bestand wurde das neue Gebäude in einer anderen Farbgebung und mit mehr Details dargestellt (Abbildung 7-18). Das neue Gebäude ist in einem Braunton mit einem grauen Dach sowie einem höheren Detaillierungsgrad dargestellt. Die Gebäude des vorhandenen Bestandes sind hier nicht entsprechend ihrer Farbgebung in der Realität eingefärbt, sie sind hier um eine bessere Unterscheidung zu dem neuen Gebäude zu gewährleisten einheitlich in einem Rotton gehalten. Diese Farbwahl wurde zugunsten einer Graustufendarstellung gewählt, um der Visualisierung mehr Lebendigkeit zu verleihen.

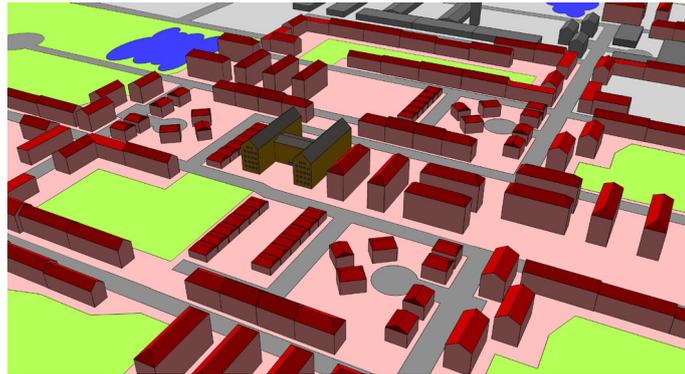


Abbildung 7-18: Übersichtsabbildung zur Informationsgewinnung mit der Differenzierung eines neuen Gebäudes von den vorhandenen Gebäuden.

In Abbildung 7-19a bis c finden sich verschiedene Alternativen der Darstellung und der Kenntlichmachung des neuen Gebäudes. Es wurde hier in erster Linie die Konturierung eingesetzt, um nicht zu sehr von der ursprünglichen Kontur des Gebäudes, wie in Abbildung 7-19c, abzuweichen.

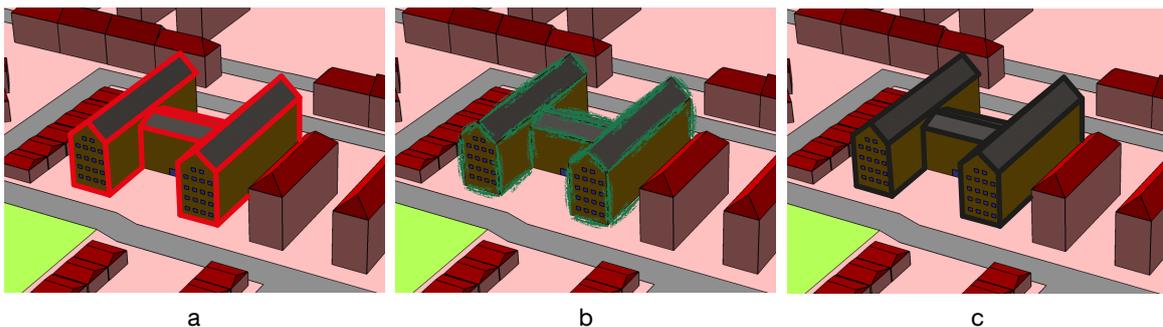


Abbildung 7-19: Verschiedene Möglichkeiten der Hervorhebung des neuen Gebäudes durch unterschiedliche Form der Konturierung und einen höheren Grad der Detaillierung.

Abbildung 7-20 zeigt viermal das Stadtmodell, wie es ein Stadtplaner betrachten würde, um einen Eindruck zu erlangen, wie das neue Gebäude mit den alten Gebäuden interagiert. Wie Abbildung 7-18 zeigt ist das neue Gebäude detaillierter gestaltet. Die restlichen Gebäude sind wieder in Rot für Wohngebäude und grau für Gewerbegebäude eingefärbt. Alternativ können die Gebäude des alten Bestandes auch wie in Abschnitt 7.2.1.1 grau

mit dunkleren Dachflächen gehalten werden, um die Unterscheidung zur neuen Bebauung deutlicher in den Vordergrund zu stellen (vgl. Abbildung 7-4b).

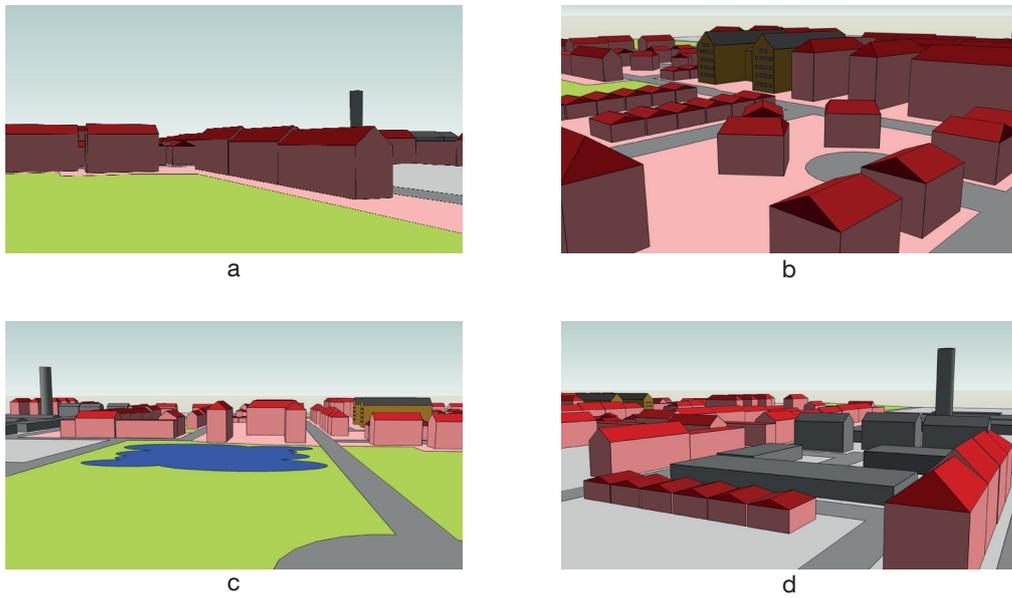


Abbildung 7-20: Vier verschiedene Darstellungen aus der Perspektive eines Stadtplaners, zur Unterscheidung alten Bestandes und neuer Bebauung.

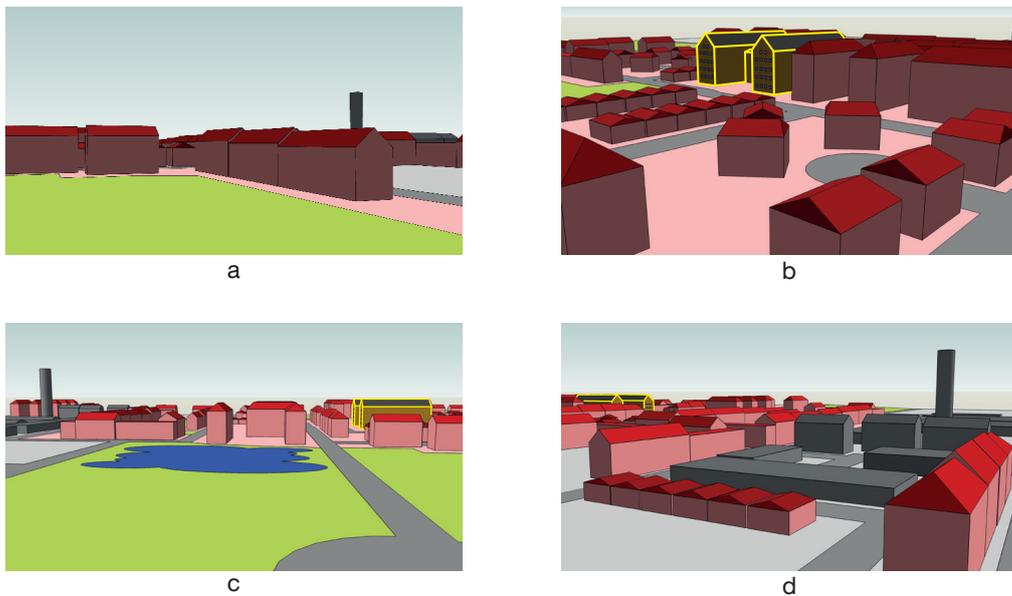


Abbildung 7-21: Vier verschiedene Darstellungen aus der Perspektive eines Stadtplaners, zur Unterscheidung alten Bestandes und neuer Bebauung mit hervorgehobenen Konturen zur besseren Unterscheidung

Die Abbildung 7-20a bis c zeigen die Blickwinkel wie in dem vorherigen Abschnitt. In Abbildung 7-20a ist das neue Gebäude aus dem Stadtpunkt nicht sichtbar. Die anderen drei Abbildungen zeigen, wie sich das neue Gebäude in die vorhandene Bebauung integriert. Das neue Gebäude ist in einer geplanten Farbgebung gestaltet und weist auch deutlich mehr Details als die umgebenden Gebäude auf. Zu diesen Details zählen Fenster, Balkone, Eingangsbereiche etc. Diese sind im Sinne der Generalisierung und Typifizierung (vgl. Abschnitt 3.6.4.2) in die Fassade verebnet, um eine schematische Fassadenstruktur zu erhalten. Sollte das Stadtmodell nicht über genügend detaillierte Fassaden verfügen, kann alternativ eine Fassadentextur aufgebracht werden, um dem Gebäude einen entsprechenden Eindruck zu verleihen. Für diese Rolle steht der visuelle Eindruck im Vordergrund, wie dieser erzeugt wird kann somit auf unterschiedlichen Wegen erfolgen. Das Stadtmodell soll die Entscheidung für oder gegen einen Entwurf unterstützen. Es nimmt hier die Aufgabe eines Transportmediums ein.

Abbildung 7-21 zeigt eine Variation der Darstellungen, wie sie auch in Abbildung 7-20 zu finden sind, mit hervorgehobenen Konturen zur besseren Identifikation des neuen Gebäudes. Die Konturen sind in ihrer Farbgebung kontrastierend zu den anderen Farben in der Szene dargestellt worden.

Die Blickwinkel, in den obigen Abbildungen, stehen stellvertretend für die Mannigfaltigkeit an Blickwinkeln, die mit heutigen Applikationen zur Betrachtung dreidimensionaler Szenen bei einem virtuellen Streifzug möglich sind. Um die verschiedenen Rollen vergleichen zu können wurden die Blickwinkel für die Abbildungen in den Rollen konstant gehalten.

7.2.2 Ergänzende Hinweise

Den Rollen 1a und 1b ist gemein, dass die Darstellung sich in zwei Teile teilt. Einen Teil, der die Grundinformationen entsprechend einer Basiskarte enthält und einen Teil, der die für die Rolle wichtigen Elemente und Darstellungen widerspiegelt. In den Rollen 2a und 2b ist das Stadtmodell als Ganzes zu sehen, die Gebäude verschmelzen mit dem Thema das präsentiert wird. In allen Fällen soll der Nutzer die virtuellen mit den realen Gebäuden zusammenbringen können, dies ist umso wichtiger, je mehr der Nutzer emotional angesprochen werden soll. Die Knoten spielen in allen hier angesprochenen Visualisierungen eine untergeordnete Rolle. Sie werden in dieser Zweck-Nutzer Kombination nicht als Träger relevanter oder zusätzlicher Information eingesetzt. Für die Nutzung des Stadtmodells auf einem mobilen Gerät (Smartphone) ist besonderes Augenmerk auf die Informationsfilterung und Generalisierung zulegen, um der kleinen Darstellungsfläche Rechnung zu tragen.

Aus den Abschnitten 7.2.1.1 bis 7.2.1.4 wird deutlich, dass die Kombination zweier Variablen sich in den meisten Fällen positiv ergänzen, wenn die relevanten Gebäude deutlich in den visuellen Vordergrund gehoben werden sollen. Die Variable Farbe für die Fassaden interagiert sehr gut mit der Variablen Linienstärke für die Konturen.

Die Unterscheidung in neue und alte bzw. relevante und nicht relevante Gebäude lässt sich auch in anderen Gestaltungsformen betonen. Alte Gebäude könnten z.B. einen in Sättigung und Helligkeit reduzierten Charakter erhalten, bis hin zu einer Graustufendarstellung (Abbildung 7-22a). Weiter könnte eine Verzerrung angebracht werden, welche die Gebäu-

de schief aussehen und alt wirken lässt. Die neuen Gebäude wiederum könnten geradlinig und in Farbe dargestellt werden (Abbildung 7-22b), die für diese Darstellung verwendeten graphischen Variablen finden sich in Tabelle 7-5. Zur Unterscheidung zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäude wird hier die Variable Form auf das Gebäude angewandt. Zusätzlich werden die Variablen Linienform/Linienmuster, Linienfarbe und Linienstärke auf die Kanten und Sättigung und Helligkeit auf die Fassaden angewandt. Somit wird durch die Anwendung mehrerer graphischer Variablen auf die verschiedenen geometrischen Primitive der gewünschte Eindruck erreicht. Zu beachten ist, dass es durch die Veränderung der Gebäudeform zu Verschneidungen benachbarter Gebäude kommen kann.

Tabelle 7-5: Zusammenstellung der graphischen Variablen zur Unterscheidung anhand der Gebäudeform

Variable	Kante	Fläche	Gebäude (Objekt)
Größe	•		
Farbe		•	•
Form/Muster	•	•	•
Sättigung		•	•
Helligkeit		•	•

Die Variable Form auf das Gebäude angewandt führt zu einer verzerrten Darstellung, die sich auf die Verzerrung einzelner Fassaden (Flächen) herunterbrechen lässt, um den Gesamteindruck zu erzeugen. In Kombination mit den Variablen Farbe, Form und Größe auf die Kanten angewandt können sehr abstrakte Gebäude entstehen, mit denen die „Andersartigkeit“ (Abschnitt 4.1.2) hervorgehoben und somit die Differenzierung zwischen Gebäuden unterschiedlicher semantischer Attribute unterstützt werden kann.

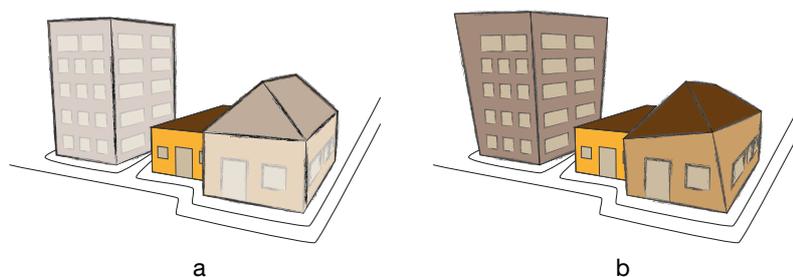


Abbildung 7-22: Differenzierung zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäuden anhand der Gebäudeform

Zusätzlich zu den Blickwinkeln, die der Nutzer, wie z.B. in Abbildung 7-10 dargestellt, einnehmen kann, könnte ihm zur Orientierung ein Umgebungsplan dargestellt werden (Abbildung 7-23). Dieser Umgebungsplan erleichtert es dem Nutzer sich einen Eindruck von dem Kontext, in dem er sich befindet, zu verschaffen bzw. ein mentales Modell (vgl. Abschnitt 2.2.2) der Umgebung aufzubauen oder zu verfeinern. Dieser Umgebungsplan sollte bei Bedarf, oder wenn der Nutzer sich virtuell einer Fußgängerperspektive nähert, zusätzlich eingeblendet werden. Abbildung 7-23a und b zeigen das Modell aus verschiedenen Pers-

pektiven, die nahe einer Fußgängerperspektive liegen. Der rote Punkt in den Umgebungsplänen deutet den jeweiligen Standpunkt und das sich öffnende Dreieck die Blickrichtung an.

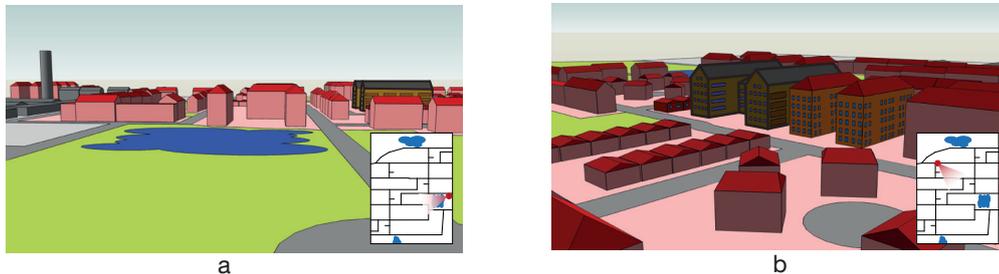


Abbildung 7-23: Szenenbild mit eingeblendetem Umgebungsplan

In Abschnitt 7.3 werden noch, unabhängig von den Zweck-Nutzer Kombinationen, Möglichkeiten aufgezeigt, wie semantische Informationen über Ikonen oder Symbole in das Stadtmodell integriert werden können. Auch die Stimmung könnte berücksichtigt werden. Die Landmarken nehmen in der Stadtmodellvisualisierung eine bedeutende Stellung ein.

7.2.3 Zusammenstellung relevanter graphischer Variablen und Gestaltungsetze

In den vorherigen Abschnitten sind für die verschiedenen Zweck-Nutzer Kombinationen unterschiedliche Darstellungen entwickelt worden, die auf der Anwendung der graphischen Variablen (Abschnitt 2.3.2) beruhen. In Abschnitt 6.3 ist erarbeitet worden, welche graphischen Variablen sich gut mit den geometrischen Primitiven Knoten, Kante, Fläche und Gebäude kombinieren lassen (Tabelle 6-2). Für die Kanten sind die Variablen Farbe, Form Muster Helligkeit, Größe, Schärfe und Sättigung genannt, für Volumenobjekte kommen die Variablen Farbe, Form, Größe und Transparenz in Frage. In den Abschnitten 7.2.1.1 bis 7.2.1.4 sind die Variablen Farbe, Form, Größe, Helligkeit und Sättigung eingesetzt worden, um das Stadtmodell abstrakt und entsprechend den Anforderungen der verschiedenen Zweck-Nutzer Kombinationen darzustellen.

Tabelle 7-6 zeigt eine Zusammenstellung der in den vorherigen Abschnitten angewendeten graphischen Variablen zur Erzeugung nicht photorealistischer Stadtmodellvisualisierungen und stellt diese den Variablen die aufmerksamkeitslenkend (Tabelle 4-1) und für die Anwendung im Dreidimensionalen (Tabelle 6-2) als geeignet erscheinen gegenüber. Wie Tabelle 7-6 zu entnehmen ist, sind deutlich mehr Variablen für dreidimensionale Darstellungen als geeignet erachtet worden, als in den vorherigen Abschnitten zum Einsatz gekommen sind. Die Variable Muster zur Anwendung auf Kanten ist ähnlich der Anwendung der Variablen Form. Die Variable Muster wie auch die Variable Form ändern das äußere Erscheinungsbild einer Kante. Die Anwendung der Variablen Muster auf eine Kante könnte z.B. auch in einer gestrichelten Kante resultieren. Die Variable Muster würde die Kante als sich wiederholende geometrische Objekte repräsentieren. Auch die Variable Schärfe ist für die Kanten in der Variablen Form enthalten.

Tabelle 7-6: Zusammenstellung und Vergleich der angewendeten graphischen Variablen

Variablen	Aufmerksamkeitslenkend (Tabelle 4-1)	geeignet für Kanten & Objekte (Tabelle 6-2)		Nicht-photorealistische Darstellungen (Abschnitt 7.2)	
		Kante	Objekt	Kante	Objekt
Farbe	•	•	•	•	•
Form	•	•	•	•	•
Muster		•			
Helligkeit		•		•	•
Größe	•	•	•	•	
Schärfe	•	•			
Sättigung	•	•		•	•
Transparenz	•		•		

Die Variablen Farbe und Form sind sowohl auf Kanten wie auch auf Objekte angewandt worden und korrespondieren mit den Variablen, die das Potential besitzen die Aufmerksamkeit des Nutzers zu lenken (Tabelle 4-1). Die Variable Größe vermag ebenso die Aufmerksamkeit zu lenken und ist als die entscheidende Variable zur Gestaltung der Kanten für dreidimensionale Darstellungen anzusehen. Mit den in Tabelle 7-6 zusammengetragenen Variablen lassen sich nicht-photorealistische Darstellungen erzeugen, die für den Nutzer einen Mehrwert erzeugen können. Dies untermauert, dass sich die graphischen Variablen der traditionellen Kartographie effektiv für Stadtmodellvisualisierungen im dreidimensionalen Raum eignen.

Die in Abschnitt 6.2.3 genannten für die Stadtmodellvisualisierung als relevant erachteten Gestaltgesetze (Abschnitt 4.2.1) treten in den verschiedenen Zweck-Nutzer Kombinationen in unterschiedlicher Ausprägung hervor.

In der Zweck-Nutzer Kombination, Informationsgewinnung/Tourist (Rolle 1a), wird durch die Anwendung der graphischen Variablen eine Abbildung erzeugt, die das Gesetz der Nähe, der Ähnlichkeit und der Fortsetzung als die für diese Zweck-Nutzer Kombination relevanten Gestaltgesetze in den Vordergrund treten lässt. Es soll eine eindeutige Unterscheidung in relevante und nicht relevante Objekte erfolgen, ähnliche und nahe beieinander liegende Gebäude können zu größeren Einheiten zusammengefasst werden. Durch die Lage der Gebäude zueinander und die Form der Gebäude bedingt, dass das Gesetz der Geschlossenheit in dieser Zweck-Nutzer Kombination hilft den Raum zu strukturieren. Die graphischen Variablen sollen so angewendet werden, dass eine gute Unterscheidung zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäuden möglich ist (vgl. Abbildung 7-5 und Abbildung 7-6).

In der letzten Zweck-Nutzer Kombination aus Informationsgewinnung und Stadtplaner (Rolle 1b) sollten verstärkt die nahe beieinander liegenden, nicht relevanten Gebäude zu Einheiten zusammengefasst werden. hier kann insbesondere die Generalisierung einen entscheidenden Beitrag leisten, in dem die Gebäude in ihrer Form stark vereinfacht werden. Die verschiedenen farblich kodierten Nutzungen bilden unter dem Gesetz der Ähnlichkeit und Geschlossenheit Einheiten. Auch in dieser Zweck-Nutzer Kombination ist ein

ausgeprägter Figur-Grund-Kontrast zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäuden für die Wahrnehmung von Vorteil.

In der Zweck-Nutzer Kombination Informationspräsentation/Stadtbürger (Rolle 2a) treten das Gesetz der Nähe und der Ähnlichkeit in den Vordergrund, da auch hier durch eine höhere Detaillierung eine Zusammengehörigkeit geschaffen werden soll, um eine eindeutige Unterscheidung zwischen relevantem und nicht relevantem Bereich zu ermöglichen. Die umliegenden Gebäude können aufgrund ihrer Lage und Form zu größeren Einheiten zusammengefasst werden. Ein guter Figur-Grund-Kontrast sollte ausgeprägt vorhanden sein und durch entsprechenden Anwendung der graphischen Variablen erzeugt werden.

Die Informationspräsentation und der Stadtplaner (Rolle 2b) bilden zusammen die nächste Zweck-Nutzer Kombination. Die relevanten Gebäude erhalten hier durch ihre höhere Detaillierung eine optische Nähe und werden unter dem Aspekt ähnlicher Darstellungen zu Einheiten zusammengefasst. Somit kommen in dieser Zweck-Nutzer Kombination das Gesetz der Nähe und der Ähnlichkeit in erster Linie zum Tragen.

Tabelle 7-7 fasst die Gestaltgesetze zusammen die für die Darstellungen der verschiedenen Zweck-Nutzer Kombinationen unterstützend wirken.

Tabelle 7-7: Die die Wahrnehmung in den Zweck-Nutzer Kombinationen unterstützenden Gestaltgesetze

	Informationsgewinnung		Informationspräsentation	
	Tourist	Stadtplaner	Tourist	Stadtplaner
Gesetz der Nähe	Einheitenbildung nicht relevanter Gebäude	Detaillierung des relevanten Bereiches	Detaillierung des relevanten Bereiches	Einheitenbildung innerhalb der relevanten und nicht relevanten Gebäude
Gesetz der Ähnlichkeit	Farbliche Zusammengehörigkeit	Ähnlichkeit aufgrund der Detaillierung (LoD)	Ähnlichkeit aufgrund der Detaillierung (LoD)	Eindeutige Farbwahl
Gesetz der Guten Fortsetzung				
Gesetz der Guten Gestalt	Gebäude gleicher Form werden zu Einheiten Zusammengefasst werden. Nicht relevante komplexe Objekte sollten durch Generalisierungsoperationen vereinfacht sein.			
Gesetz der Geschlossenheit				Farbliche Kodierung verschiedener Nutzungen
Figur-Grund-Kontrast	Möglichst gute Unterscheidung relevanter und nicht relevanter Gebäude	Hier von untergeordneter Relevanz	Möglichst gute Unterscheidung relevanter und nicht relevanter Bereiche	Wichtig zur guten Erfassung der Übergeordneten Struktur

Das Gesetz der Guten Fortsetzung ist in der Stadtmodellvisualisierung dem Gesetz der Ähnlichkeit nahe, beide fassen thematisch ähnliche Objekte zusammen (vgl. Abschnitt 6.2.3).

7.3 Weitere beispielhafte Stadtmodell Darstellungen

In diesem Abschnitt sollen weitere beispielhafte Stadtmodell Darstellungen präsentiert werden, die außerhalb der in Abschnitt 6.1 vorgestellten Zweck Nutzer Kombinationen liegen. Hierzu gehört z.B. die Integration einer Stimmung in das Stadtmodell, sodass abhängig vom Nutzer und der Tages- oder Jahreszeit das Modell ein anderes Aussehen erhält. Als weiterer Aspekt könnte auch das Alter der Gebäude als zusätzliche Information mit in die Visualisierung integriert werden. Die älteren Gebäude könnten verzerrt und in Graustufen dargestellt werden, während die neueren Gebäude nicht verzerrt und farbig dargestellt würden (Abschnitt 7.2.1.4). Wie die Abschnitte 7.2.1.1 bis 7.2.1.4 zeigen ist es nötig, zusätzliche oder relevante Gebäude über Ikonen oder Symbole, die mit dem Gebäude in Bezug steht kenntlich zu machen. Die Hervorhebung von „Points of Interest“ oder Landmarken kann durch eine Überhöhung dargestellt werden. Die Variable Größe würde auf das Gebäude in Richtung der Höhen-Achse Anwendung finden.

7.3.1 Semantische Informationen in dreidimensionalen Stadtmodellen

Die beispielhaften Visualisierungen haben zum einen gezeigt, dass noch weitere Wege gefunden werden müssen, semantische Informationen in den Stadtmodellen unterzubringen, zum anderen könnte ebenso die Stimmung mit in die Visualisierung einfließen.

Um verdeckte Informationen sichtbar zu machen kann auf die Variable Transparenz für die verdeckenden Gebäude zurückgegriffen werden. Dies lässt sich noch sehr gut anwenden, wenn das Gebäude nur durch ein weiteres Gebäude verdeckt wird. Ist dies nicht mehr gegeben, würde die Anwendung der Transparenz nicht den gewünscht Effekt erzielen, da viel zusätzliche Information aufgedeckt werden würde, die ablenkend und störend wirkt. Im Weiteren sollen Möglichkeiten aufgezeigt werden, wie semantische Information unabhängig von einem Blickwinkel in die Darstellung integriert werden können. Die Stimmung ist ein weiterer Aspekt der in die Darstellung integriert werden kann. So kann ein neues Erfahrungsmoment für den Nutzer erreicht werden, wenn der Nutzer verschiedene Visualisierungen für „tagsüber“ und für „nachts“ präsentiert bekommt. Weiter könnte über einen Schattenwurf der Sonnenstand im Tagesverlauf dargestellt werden (Abbildung 7-24). Über variierende Sättigung und Helligkeit lässt sich ebenso der Sonnenstand simulieren wie Abbildung 7-25 zeigt. Die Jahreszeiten sind ein weiterer Punkt, der als Stimmung interpretierbar und in die Visualisierung integriert werden könnte. Die Jahreszeiten wie auch die Unterscheidung in Tag und Nacht kann durch angepasst Farben für Gebäude und Gelände erreicht werden, der Schatten im Tagesverlauf würde wiederum weitere Informationen generieren und in bestimmten Situation die Differenzierung zwischen Gebäuden erschweren.

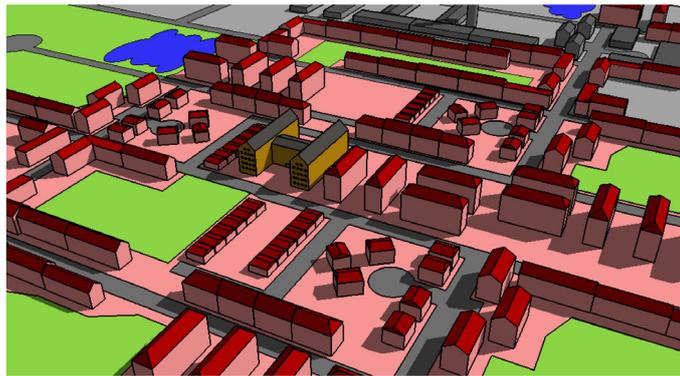


Abbildung 7-24: Modell mit angewendetem Schatten, der im Laufe des Tages durch den Sonnenstand beeinflussbar wäre.

Alternativ zum Schatten kann eine Stimmung ebenso über den Tagesverlauf durch den Sonnenstand mit angepassten Helligkeits- und Sättigungswerten wie in Abbildung 7-25 dargestellt werden.

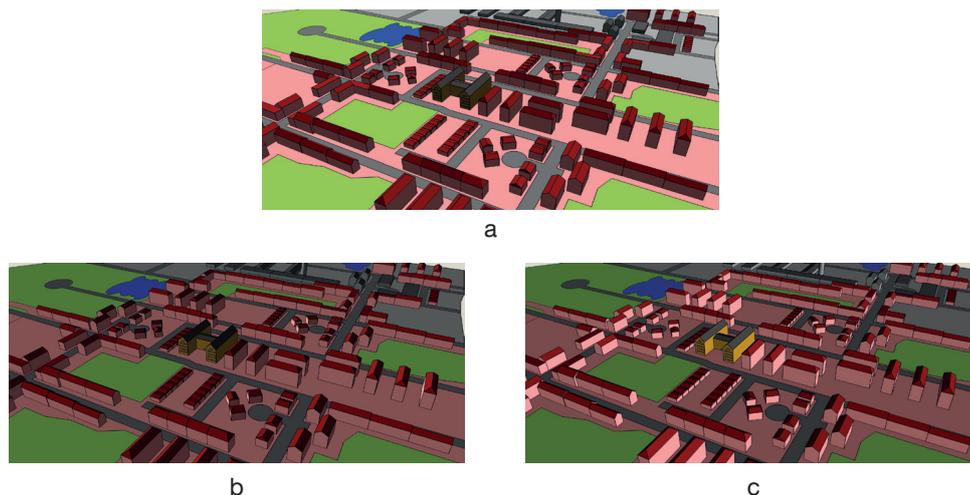


Abbildung 7-25: Das Stadtmodell im Tagesverlauf. a) mittags, b) morgens und c) abends.

Gebäude verdecken andere Gebäude und somit Informationen, die in bestimmten Situationen wichtig sein können. So kann es dem Stadtbürger/Tourist aus Blickwinkeln nahe der Fußgängerperspektive unter Umständen nicht möglich sein, interessierende Gebäude in der Darstellung wahrzunehmen. Hier sind Hinweise in der Visualisierung von Nöten, die gerade dieses Hindernis abmildern. Diese Hinweise könnten in Form von Symbolen über den entsprechenden Gebäuden angebracht sein und die restlichen Gebäude überragen. Mit dieser Möglichkeit schafft man weiteren Raum, der zur Informationsdarstellung genutzt werden kann. Die Farbe dieser Symbole könnte z.B. als Indikator für die Öffnungszeiten dienen.

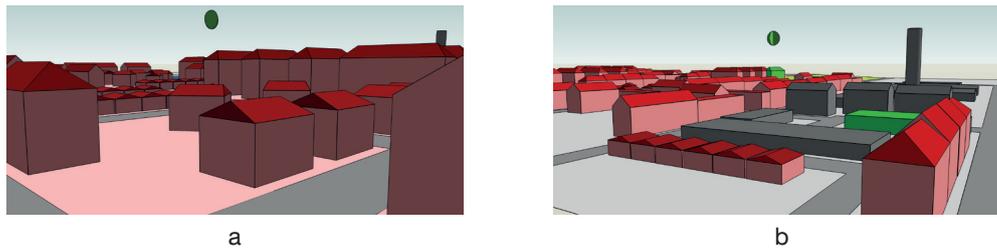


Abbildung 7-26: Beispiele zur Kenntlichmachung der relevanten Gebäude. a) Hinweis auf die nicht sichtbaren Gebäude, b) auf das weiter entfernte Gebäude wird zusätzlich durch einen Hinweis aufmerksam gemacht.

Sind wie in Abbildung 7-26a die relevanten Gebäude durch andere verdeckt, kann ein oberhalb der Gebäude platziertes Symbol als Hinweisgeber integriert werden. Als Indikator für geöffnete (Grün) oder geschlossene (Rot) Gebäude könnte die Farbgebung dieser Symbole angepasst werden.

7.3.2 Landmark basierte nicht-photorealistische Darstellungen

Besondere Gebäude sollen von möglichst vielen Standpunkten aus sichtbar sein. Um dies zu gewährleisten, kann auf das gesamte Gebäude die Variable Größe angewendet werden. Hierdurch erhält das relevante Gebäude ein besonderes Gewicht und ist aus vielen Perspektiven sichtbar. Durch eine Veränderung der Größe insbesondere in dicht bebauten Gebieten kann es zu Verschneidungen mit umliegenden Gebäuden kommen. Mit einer blickwinkel- und entfernungsabhängig gestalteten Größenänderung könnten die Verschneidungen mit benachbarten Gebäuden auf ein Minimum reduziert werden.

Eine gleichmäßige Größenänderung entlang aller Koordinatenachsen wäre eine Möglichkeit, das Gebäude hervorzuheben, eine weitere wäre die Größenänderung des Gebäudes aufzuteilen in eine Änderung der Grundfläche und eine Änderung der Höhe. Dies könnte Verzerrungen nach sich ziehen, die Verschneidungen mit benachbarten Gebäuden würden somit jedoch im Rahmen bleiben. Diese Aufteilung hat ebenso den Vorteil, das sehr flache Gebäude nicht überproportional in ihrer Grundfläche wachsen, um eine bestimmte Höhe zu erreichen.

7.4 Wertung und Eignung der Visualisierungsansätze

In dem Abschnitt 7.2.1 werden die einzelnen Zweck-Nutzer Kombinationen in einen konkreten Nutzungskontext gestellt und Gestaltungshinweise für ein Umsetzen in eine Visualisierung gegeben. Die Umsetzung dieser Hinweise beinhaltet in Unterabschnitten jeweils Übersichtsdarstellungen der Stadt sowie Abbildungen aus unterschiedlichen Perspektiven. Der Nutzer stellt einen der entscheidenden Einflussfaktoren für die Gestaltung von dreidimensionalen Stadtmodellen dar. Eine kritische Auseinandersetzung mit seinen Bedürfnissen verschafft der Stadtmodellvisualisierung eine gestalterische Basis. Hier wurden die Hinweise in eine Darstellung überführt. In diesem Abschnitt sollen die erstellten Visualisierungen und die ihnen zugrunde liegenden Gestaltungshinweise hinsichtlich ihrer Eignung, Gestaltung und Umsetzung hinterfragt werden.

Die Basis für die Darstellungen bildet ein Stadtmodell, in welchem bei den Gebäuden auf dekorierende Elemente verzichtet wurde. Abhängig von der Zweck-Nutzer Kombination wurden Fenster und Eingangsbereiche dem Modell hinzugefügt. Die Rot eingefärbten Flächen für Wohn- und die Grau eingefärbten Flächen für Gewerbegebäude entsprechen der Farbgebung einer topographischen Karte. Für Gewässerflächen wurde Blau und für Park- oder Wiesenflächen Grün verwendet. Da Park-, Wiesen und auch Gewässerflächen nicht bebaut sind, stehen diese Flächen für sich, transportieren eindeutige Informationen und strukturieren die Stadt. Auf Wohn- und Gewerbeflächen finden sich die Großzahl der Gebäude wieder. Durch die überwiegende Nutzung von Grau und Rot für diese Flächen scheiden diese Farben zur Gestaltung weiterer Thematiken aus. Eine Doppelbelegung könnte zu einer Verwirrung des Nutzers und einer unter Umständen nicht eindeutigen Informationsaufnahme führen (Abbildung 7-8). Hier stellt sich die Frage, ob zur Identifikation einer Nutzung überhaupt die Bodenfarbe herangezogen werden sollte. Eine nutzungsunabhängige Farbgebung für den Boden wäre zukünftig der richtigere Weg, um der Farbgestaltung der Gebäude einen größeren Spielraum zu ermöglichen. Dieser Umstand zeigt deutlich, dass die Zweck-Nutzer Kombination die gesamte Farbgebung der Stadtmodell Darstellung beeinflusst. Es wird andeutungsweise ersichtlich, dass jede Darstellung ihr eigenes Farbschema benötigt und eine allgemeingültige Darstellung schwer zu realisieren ist.

Fazit: Die Farbgebung des Bodens muss eindeutig sein und sollte die Gestaltungsfreiheiten für die Gebäude nicht beeinträchtigen. Die Einhaltung Auflösungsbedingter Mindestdimensionen gestaltet sich in diesem Fall schwierig.

Im Folgenden sollen die Darstellungen zu den einzelnen Zweck-Nutzer Kombinationen kritisch betrachtet werden.

Begonnen wird mit der Zweck-Nutzer Kombination Informationsgewinnung Stadtbürger (Rolle 1a). Die Visualisierungen zur Zweck-Nutzer Kombination Informationsgewinnung, Stadtbürger finden sich in Abschnitt 7.2.1.1. Der Stadtbürger oder Tourist sucht bewusst nach Informationen wie z.B. Museen, Einkaufsmöglichkeiten oder ähnlichem. Diese Information wird in dem Stadtmodell angezeigt, in dem die relevanten Gebäude hervorgehoben werden. Dies kann durch assoziierende oder kontrastierende Farbgebung erfolgen. In dem hier gezeigten Abbildungen (Abbildung 7-4a und Abbildung 7-5) wird eine assoziierende Farbgestaltung gewählt. In Abbildung 7-4b und Abbildung 7-6 ist eine alternative mit einer unbunten Darstellung der nicht relevanten Gebäude gezeigt. Für die bunte Darstellung zeigt sich, dass für den Boden eine neutrale, nutzungsunabhängige Farbgestaltung besser wäre und auch die umgebenden Gebäude neutral gestaltet werden sollten. In der unbunten Darstellung der nicht relevanten Gebäude lässt sich die Differenzierung in Gewerbe und Wohnen nur über die Bodenfarbe erzielen. Wie die Abbildung 7-5 und Abbildung 7-6 zeigen sind die relevanten Gebäude nicht aus allen Perspektiven sichtbar, sodass hier mit Signaturen ein Hinweis auf die Gebäude gegeben werden sollte (Abschnitt 7.3.1). Diesen Missstand verdeutlicht z.B. Abbildung 7-5a aus deren Perspektive keine relevanten Gebäude sichtbar sind. Die relevanten Gebäude heben sich gegenüber den anderen Gebäuden ab, wie schon angesprochen sollte deren Farbgebung der Situation entsprechend assoziativen oder kontrastierenden Gesichtspunkten folgen. Zur Kenntlichmachung der relevanten Gebäude kann auch die in Abschnitt 7.3.2 angesprochene Skalierung ganzer Objekte angewendet werden.

Fazit: In dieser Rolle sollten Signaturen hinzugefügt werden, um auch auf verdeckte Gebäude aufmerksam zu machen. Eine deutlichere Unterscheidung zwischen relevanten und nicht relevanten Gebäuden kann z.B. durch Graustufen für die nicht relevanten Gebäude erzielt werden (vgl. Abbildung 7-6). Konturen können zur weiteren Kenntlichmachung und Differenzierung zwischen den Gebäuden verstärkt eingesetzt werden. Der Grad der Abstraktion darf für die relevanten Gebäude ein anderer sein wie für die nicht relevanten Gebäude. Der Grad der Abstraktion darf zur Differenzierung für die relevanten Gebäude größer sein.

In der Zweck-Nutzer Kombination Informationsgewinnung/Stadtplaner (Abschnitt 7.2.1.2) soll mit dem Stadtmodell die Struktur einer Stadt bzw. eine Verteilung von z.B. verschiedenen Nutzungen über die Stadt dargestellt werden. Als Adressat gilt hier der Stadtplaner (Rolle 1b). Die Nutzungen sollten möglichst mit assoziativen Farben repräsentiert werden, zur deutlicheren Kennzeichnung kann die Stärke der Kontur der Gebäude erhöht werden. Für diese Überblicksinformation reicht ein sehr abstraktes Stadtmodell aus. Auf dekorierende Elemente kann bewusst verzichtet werden. In diesem Fall bietet es sich ebenfalls an, mit der Färbung des Bodens Informationen über die Widmung von Flächen zu kodieren. Allerdings sollten nicht mehr als 7 ± 2 (Miller, 1956) verschiedene Nutzungen gleichzeitig dargestellt werden. Abbildung 7-8 zeigt einen Überblick über das Stadtmodell während die Abbildung 7-10 verschiedene Perspektiven auf das Modell zeigt. Für diese Zweck-Nutzer Kombination ist ein nicht-photorealistisches Stadtmodell sehr gut geeignet, das sich im Sinne der thematischen Kartographie großräumige Zusammenhänge sehr gut visualisieren lassen. Für den Nutzer ist es sinnvoll wie, in Abbildung 7-9 angedeutet, Informationen zur Farbcodierung der verschiedenen Nutzungen im Stadtmodell bei Bedarf einzublenden.

Fazit: Diese Zweck-Nutzer Kombination kann die meisten Vorteile aus der abstrakten Darstellung erzielen. Die Gebäude sollten bewusst abstrakt gestaltet werden, da hier der Fokus auf zusätzlichen Informationen liegt, die über die gesamte Stadt verteilt sein können. Die Visualisierung für die Zweck-Nutzer Kombination weist ebenso die beste Eignung für die Darstellung auf mobilen Geräten auf.

In der Informationspräsentation dient das Stadtmodell in weiten Teilen der reinen Darstellung. Die Stadtbürger sollen neue Bebauung in einer angemessenen Weise repräsentiert bekommen. Hierzu sollte die Bodenfärbung, entgegen dem wie sie in Abschnitt 7.2.1.3 vorgenommen wurde, dezent gehalten werden und die Farbgebung sollte nicht als Transportmedium zusätzlicher Informationen dienen. Wie schon angesprochen eignet sich die gewählte Farbdarstellung für diese Zweck-Nutzer Kombination weniger, dafür ist sie an den Gesetzmäßigkeiten der topographischen Kartographie orientiert. Abbildung 7-13 verdeutlicht die Konzentration auf den relevanten Bereich in der Stadtmodell Darstellung durch die höhere Detaillierung des relevanten und benachbarter Gebäude wird der Fokus auf diesen Bereich gelenkt (Abbildung 7-13a). Eine höhere Konzentrationswirkung auf den relevanten Bereich lässt sich mit einheitlich unbunten nicht relevanten Gebäuden erreichen (Abbildung 7-13b). Dadurch wird auf das Gebäude in seinem Nachbarschaftskontext fokussiert. Die weiter entfernt liegenden Gebäude sind einheitlich abstrakt gestaltet, um keine ablenkenden oder störenden Informationen zu präsentieren. Durch Verstärkung der Konturen der beteiligten Gebäude kann der Effekt der Fokussierung noch unterstützt wer-

den. Der Grad der Detaillierung der Gebäude innerhalb der Darstellung entspricht einem, mit zunehmender Entfernung, abnehmendem LoD. Um dem Stadtbürger weiter entgegen zu kommen sollte der Grad der Abstraktion aller Gebäude möglichst gering gehalten werden, bzw. der Umkreis um das relevante Gebäude, in dem die Gebäude detailliert dargestellt werden, möglichst groß gewählt werden. Die Gebäude sollten sich eindeutig den realweltlichen Gebäuden zuordnen lassen. In diesem Fall ist das Stadtmodell in den Abbildungen des Abschnittes 7.2.1.3 zu abstrakt und reduziert gestaltet, um dem Bürger einen Mehrwert zu bieten. Die Perspektiven, die in Abbildung 7-15 dargestellt sind, zeigen unterschiedliche Sichten auf den interessierenden Bereich. Auch hier wäre zu überlegen, ob Hinweise in Form von Signaturen auf diesen Bereich sinnvoll sind, wenn er aus einer bestimmten Perspektive nicht sichtbar ist.

Fazit: Die Gebäude sollten deutlich an ihrer realen Ausprägung orientiert werden. Die Farbwahl des Bodens sollte neutral mit reduzierter Information gestaltet sein (keine Hinweise auf Wohn- oder Gewerbebereiche). Von dem relevanten Gebäude ausgehend sollte der Detaillierungsgrad mit zunehmender Entfernung abnehmen. Die Linienstärke der Kontur kann als den Fokus verstärkendes Element eingesetzt werden.

Die Informationspräsentation für den Stadtplaner (Rolle 2b) zeichnet sich dadurch aus, dass die neue Bebauung zusammen mit vorhandenem Bestand dargestellt wird (Abschnitt 7.2.1.4). Die Integrationswirkung soll untersucht werden. Hier sollen weniger zusätzliche semantische Informationen dargestellt werden. Im Vordergrund steht der visuelle Eindruck aus unterschiedlichen Perspektiven. Hierzu sollte das neue Gebäude näher an der Wirklichkeit gestaltet sein. Die Notwendigkeit dieser detaillierteren Ausgestaltung muss hinterfragt werden, wenn die umliegenden Gebäude, wie in diesem Fall erfolgt, abstrakt dargestellt sind. Die Darstellung kann somit nur einen ersten Eindruck liefern, für den auch ein abstraktes neues Gebäude ausreichen sollte. Es sollte in dieser Zweck-Nutzer Kombination auf eine gesonderte Hervorhebung verzichtet werden (vgl. Abbildung 7-19 oder Abbildung 7-22). Das neue Gebäude sollte im Gestaltungsstil der anderen Gebäude dargestellt werden. Die Übersichtsabbildung (Abbildung 7-18) verdeutlicht, dass das neue Gebäude gegenüber seinen benachbarten Gebäuden ein zu großes visuelles Gewicht erhält, welches durch den Detaillierungsgrad und die Farbgestaltung verursacht wird. Eine Kenntlichmachung des Gebäudes in Perspektiven, wenn es verdeckt wird, ist nicht nötig, da der visuelle Eindruck aus den verschiedenen Perspektiven entscheidend ist (Abbildung 7-20a – d). Die Unterscheidung in verschiedenen Nutzungen über die Färbung des Geländes ist in dieser Zweck-Nutzer Kombination sinnvoll, die Abschätzung, aus welchen Bereichen und unter welchen Perspektiven die Bebauung sichtbar ist, würde die Entscheidungsfindung unterstützen. Es wäre hier von Vorteil die Perspektivansichten (Abbildung 7-20) Übersichtspläne, wie in Abschnitt 7.2.1.4 (Abbildung 7-23) angedeutet, zu integrieren. Die Abstraktionsleistung, die der Nicht-Photorealismus bietet, ist für einen ersten Eindruck gut nutzbar, für eine detailliertere Betrachtung wäre eine realistischere Darstellung sicher von Vorteil. Der Nicht-Photorealismus im Zusammenspiel mit kleinen Displays sei für diese Zweck-Nutzer Kombination in Frage gestellt bzw. sei die Frage zu beantworten, ob der Stadtplaner aus solchen Darstellungen einen Mehrwert ziehen kann.

Fazit: In dieser Zweck-Nutzer Kombination sollte für alle Gebäude ein einheitlicher Gestaltungsstil angewendet werden, um wenig bis kein visuelles Gewicht auf die relevante

Gebäude zu legen. Die Darstellung von Nutzungsarten ist über die Bodenfärbung möglich und sinnvoll. Die nicht-photorealistische Darstellung sollte sich in diesem Fall möglichst nahe an der Realität orientieren.

Resümee zu den Darstellungsbeispielen:

Die einzelne Betrachtung der Zweck-Nutzer Kombinationen hat zu Tage gebracht, dass die abstrakte Informationsrepräsentation insbesondere dann Vorteile hat, wenn großflächig zusätzliche Information repräsentiert werden soll (vgl. Abschnitte 7.2.1.1 und 7.2.1.4). In den ersten drei diskutierten Zweck-Nutzer Kombinationen steht die punktuelle Informationspräsentation im Vordergrund, bei der es um einzelne Gebäude und eventuell noch angrenzende Gebäude oder Bereiche geht. Informationen, die für eine gesamte Stadt präsentiert werden sollen, finden sich in der letzten Zweck-Nutzer Kombination. In der Kombination aus Informationsrepräsentation und Stadtbürger lassen sich die Vorteile aus der realistischen und der abstrakten Darstellung mit einem variierenden Level of Detail vereinen. Allgemein wird ebenso aus der Diskussion ersichtlich, dass die Usability einen entscheidenden Einfluss auf die Gestaltung des Modells hat. Die verschiedenen Nutzer definieren unterschiedliche Anforderungen an die Gestaltung des Stadtmodells. Wobei der Zweck eine ebenso wichtige Rolle einnimmt wie der Nutzer. Nur durch die Betrachtung einer Zweck-Nutzer Kombination ist ein sinnvoller Gestaltungsansatz definierbar. Die nicht-photorealistische Gestaltung ermöglicht viele Gestaltungsspielräume in der Darstellung, deren Abstraktionsgrad muss jedoch genau abgewogen werden, um die Bedürfnisse und Anforderungen der Nutzer auch zu erfüllen.

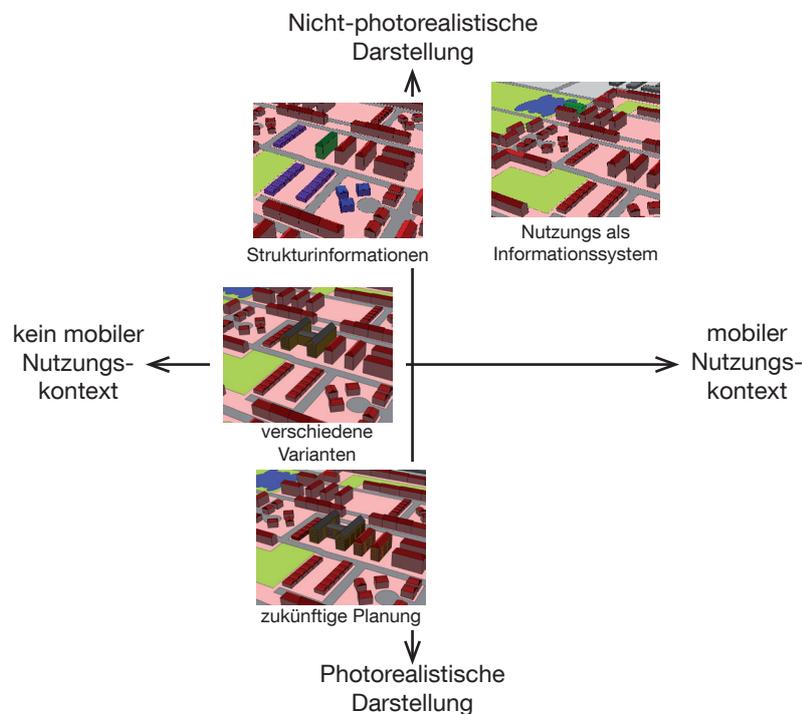


Abbildung 7-27: Einordnung der verschiedenen Stadtmodellvisualisierungen

Wie Abbildung 7-27 nochmal zusammengefasst zeigt, eignet sich nicht für jede Zweck-Nutzerkombination eine nicht-photorealistische Darstellung. Für die Darstellung zukünftiger Planung würde sich eher eine photorealistische Darstellung auf einem stationären Rechner eignen. Wohingegen die Nutzung des Stadtmodells als Informationssystem und zur Darstellung von Strukturinformationen der Stadt von einer nicht-photorealistischen Darstellung profitiert.

7.5 Automatisierbarkeit

Die Abbildungen in den vorhergehenden Abschnitten wurden, wie Eingangs angedeutet mit den Programmen Trimble SketchUp® und Adobe Illustrator® erstellt. Alternativ hätte auch andere dreidimensionale Modellierungssoftware, wie z.B. Autodesk 3DS Max®, zum Einsatz kommen können.

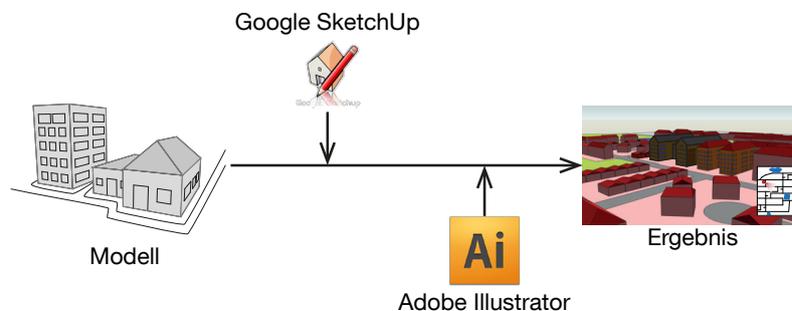


Abbildung 7-28: Workflow zur Erzeugung der beispielhaften nicht-photorealistischen Stadtmodell Darstellungen

Als Grundlage diente ein kleines Stadtmodell, welches für Visualisierungs- und Demonstrationszwecke erstellt wurde. Da das Modell mit der Software SketchUp erstellt wurde liegt es in dem SketchUp eigenen Datenformat vor und kann mit verschiedenen Exportfiltern auch in andere Dateiformate überführt werden. SketchUp ist ein Modellierungswerkzeug, gleichzeitig auch ein Betrachtungswerkzeug für dreidimensionale Modelle, sodass die Modelle aus verschiedenen Perspektiven und Blickwinkeln betrachtet werden können. Exemplarisch sind verschiedenen Blickwinkel zu Visualisierungszwecken exportiert worden. In einem weiteren Arbeitsschritt sind die Anwendungen der graphischen Variablen auf die geometrischen Primitive Punkt, Linie und Fläche in Illustrator nachbearbeitet worden, um deren auftreten und Einfluss deutlicher herauszustellen. Das Einblenden von Legendeninformationen oder Übersichtsplänen ist in SketchUp nicht möglich, sodass auch diese Elemente nachträglich in Illustrator der Visualisierung hinzugefügt wurden (Abbildung 7-28).

Abbildung 7-28 zeigt den Workflow zur manuellen Erzeugung der Ergebnisabbildungen. Für die automatische Darstellung ohne manuelles Eingreifen oder Nachbearbeiten müssen andere Voraussetzungen geschaffen werden. Als Grundlage sollte ein semantisches Stadtmodell dienen, in dem für jedes Objekt Eigenschaften hinterlegt sind. CityGML (OGC, 2008) bietet die Möglichkeit für jedes Objekt entsprechende Eigenschaften zu hinterlegen, die dann in einem Renderingprozess für die Darstellung herangezogen werden kön-

nen. Dies ist nötig, um auch eine Interaktivität in der Darstellung zu gewährleisten. Durch Nutzereingaben sollen die relevanten Gebäude ausgewählt und entsprechend dargestellt werden. Somit spielt die Betrachtungssoftware eine wichtige Rolle in diesem Prozess. Die Betrachtungssoftware muss dafür geeignet sein nicht-photorealistische Darstellungen zu erzeugen. Um dies zu erreichen muss der Renderingprozess angepasst werden und die Graphikpipeline (vgl. Abschnitt 3.6.1) entsprechend programmiert werden. Zudem muss die Betrachtungssoftware über eine Benutzerschnittstelle verfügen, die Eingaben zulässt und es dem Nutzer ermöglicht sich frei in der Szene zu bewegen. Weiter ist es nötig, die in der Regel sehr komplexen Renderingverfahren an die limitierten Möglichkeiten einer mobilen Plattform anzupassen.

Aus heutiger Sicht ließe sich festhalten, dass für verschiedene Städte, wie z.B. München, Stadtmodelle im CityGML Transferformat verfügbar sind, es jedoch an geeigneter Betrachtungssoftware insbesondere für den mobilen Bereich fehlt, welche die oben angeführten Voraussetzungen erfüllt.

8. Zusammenfassung

8.1 Fazit

In der Arbeit wird der Weg beschrieben die Visualisierung von dreidimensionalen Stadtmodellen in einen kartographischen Kontext zu stellen. Die abstrakte Informationsdarstellung ist ein inhärentes Merkmal der kartographischen Visualisierung und soll mit dieser Arbeit für den Bereich der dreidimensionalen Darstellung von Stadtmodellen erschlossen werden. Die Entwicklungen in der Informationstechnologie haben einen Rahmen geschaffen, deren sich die kartographische Visualisierung zur Darstellung dreidimensionaler Objekte bedienen kann. Insbesondere die Form des Nicht-Photorealistischen Renderings (NPR) bietet sich an, da es auf den Prinzipien der Abstraktion und Vereinfachung von Informationen beruht. Aus diesem Grund wurden die Ansätze aus dieser noch jungen Fachrichtung innerhalb der Computergraphik für die Darstellung dreidimensionaler Stadtmodelle herangezogen. Ein weiterer Aspekt, der mit dieser Arbeit aufgegriffen wurde sind die mit der zunehmenden Verbreitung von Smartphones kleinen Darstellungsflächen (Displays) für die Informationsvisualisierung, die einer an den Wahrnehmungsfähigkeiten des Menschen orientierten Gestaltung bedürfen.

Die Modelle der kartographischen Kommunikation bilden das Grundgerüst, welches mit den graphischen Variablen in ein anwendbares Rahmenwerk überführt wurde. Der Schritt von der analogen zur digitalen Kartographie kam einem Paradigmenwechsel gleich, da die Erkenntnisse und Theorien nicht ohne weiteres in eine digitale Darstellung überführbar sind. Die Auflösungen der Darstellungsflächen, die verschiedenen Farbräume und Interaktionsmöglichkeiten mussten berücksichtigt werden, um eine nach kartographischen Gesichtspunkten „gute“ Darstellung zu erzielen. Die dritte Dimension, ein weiterer Faktor der in der kartographischen Forschung in Form kartenverwandter Darstellungen vorhanden war, jedoch nicht die Prominenz besaß, wie sie sie heute durch die Fortschritte in der Computergraphik innehat. Aus den vorhandenen technischen Möglichkeiten hat sich ein Bedürfnis entwickelt ganze Städte darstellbar und erfahrbar zu machen. Der schon angesprochene Nicht-Photorealismus kann die Abstraktionsleistung der klassischen Kartographie für dreidimensionale Darstellungen erschließen. Er vereint Kunst, Ästhetik und Kommunikation zu einer neuen abstrakten Darstellungsform, welche gezielt die Wahrnehmungskanäle des Menschen aktiviert.

Die Anwendung der Gestaltungsgrundsätze der traditionellen Kartographie auf dreidimensionale Darstellungen stößt an Grenzen, die durch Berücksichtigung der Erkenntnisse aus den Kognitionswissenschaften überwunden werden können. Der visuelle Wahrnehmungskanal des Menschen muss angesprochen werden, um Information aufzunehmen. Die Erkenntnisse der Kognitionswissenschaften dienen somit als Zwischenschicht, um die Gestaltungsansätze auch für den dreidimensionalen Raum anwendbar zu machen. Die Tiefenhinweise, welche dem Menschen einen dreidimensionalen Eindruck ermöglichen, sind ein wichtiger Baustein, um die graphischen Variablen sinnvoll in dreidimensionalen Darstellungen einzusetzen. Die Gestaltgesetze geben Hinweise und Anmerkungen wie Informationen strukturiert werden sollen, um dem Benutzer bei der Informationsaufnahme

zu unterstützen. Die Raumwahrnehmung ist einer der zentralen Punkte, die bei der Visualisierung von Stadtmodellen Berücksichtigung finden müssen. Neben den Lehren der Kognitionswissenschaften bringt die Berücksichtigung von Erkenntnissen aus der visuellen Forschung und dem Graphik-Design neue Ansätze für die informationsreduzierte Gestaltung dreidimensionaler Stadtmodelle.

Ein effizientes Design kann nur dann effektiv eingesetzt werden, wenn der Adressat bekannt ist. Die Kenntnis des (zukünftigen) Benutzers ist ein weiterer zentraler Punkt in der Visualisierung von Stadtmodellen. Mit Usability-Untersuchungen kann zum einen die Effektivität und Effizienz einer Darstellung beurteilt werden, zum anderen gehört zu ihr auch das Sammeln von Informationen über den Nutzer. Sind die Bedürfnisse eines Nutzers bekannt, können sie dazu verwendet werden, um ein gutes Design zu erstellen. Hierzu werden Informationen über potentielle und reale Nutzer erhoben, ausgewertet und in der Gestaltung berücksichtigt. Neben dem Adressaten für die Visualisierung ist es ebenso von Belang, dass der Einsatzzweck bzw. der Umstand des Gebrauches bekannt ist. So sagt die Definition eines Nutzers noch nichts darüber aus, für welchen Zweck die Visualisierung des Stadtmodells eingesetzt werden soll. Erst wenn der Zweck bekannt ist, kann ein effizientes und effektives Design den Nutzer auch wirklich unterstützen. Nutzer und Zweck bilden eine Kombination, die essentiell für eine durchgreifende Stadtmodell-Darstellung sind.

In dieser Arbeit sind als Nutzer der Stadtbürger respektive der Tourist und der Stadtplaner gewählt worden. Für diese Nutzer lassen sich verschiedenen Einsatzszenarien konstruieren, an denen dreidimensionale Stadtmodelle beteiligt sind (Zweck). Stadtbürger und Tourist wurden zusammengefasst, da sie von ihren Ansprüchen her ähnliche Anforderungen an ein Stadtmodell stellen. Den beiden Nutzergruppen wurden zwei unterschiedliche Zwecke zur Seite gestellt, sodass sich insgesamt vier Zweck-Nutzer Kombinationen ergeben. Als Zweck wurde in dieser Arbeit der Einsatz des Stadtmodells zur Informationsgewinnung und zur Informationspräsentation angeführt. Hieraus ergaben sich die Zweck-Nutzer Kombinationen

- Stadtbürger – Informationsgewinnung (Rolle 1a),
 - Stadtplaner – Informationsgewinnung (Rolle 1b),
 - Stadtbürger – Informationspräsentation (Rolle 2a) und
 - Stadtplaner – Informationspräsentation (Rolle 2b).
- (vgl. Abschnitt 6.1)

Die Informationsgewinnung ist als Visualisierung definiert, welche den Nutzer unterstützt, zusätzliche über das eigentliche Stadtmodell hinausgehende Information wahrzunehmen. Dies sind insbesondere semantische Informationen. Die Informationspräsentation unterscheidet sich hinsichtlich der Inhalte, die präsentiert werden. Hier steht das Stadtmodell im Vordergrund, es wird wenig bis keine zusätzliche semantische Information mit dargestellt. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn das Stadtmodell die Integration von neuen Bauvorhaben in den bestehenden Bestand zeigen soll.

Diese Zweck-Nutzer Kombinationen führen zu einem Gestaltungsrahmen, der Hinweise für die verschiedenen Kombinationen beinhaltet. Der Gestaltungsrahmen setzt auf der kartographischen Theorie auf und integriert die kognitionswissenschaftlichen, computergraphischen und Usability-Aspekte. Die Hinweise, wie die Visualisierung, insbesondere im Hinblick auf die Darstellung auf Smartphones, aussehen sollte, wird zusammenfassend für jede Zweck-Nutzer Kombination dargestellt. Die Überprüfung dieser Hinweise durch Um-

setzung in entsprechende Darstellungen ist ein wichtiger Schritt, Schwachstellen in dem Gestaltungsrahmen zu identifizieren.

Die Darstellungen basieren auf Erfahrungen aus der topographischen Kartographie, deren Farbgebung für flächenhafte Objekte zur Strukturierung des Geländes (Boden) in der Stadtmodell Darstellung herangezogen wurde. Dieses Vorgehen strukturiert die Darstellung, behindert jedoch die weitere Gestaltung, wenn die gewählten Farben schon mit Bedeutungen in der topographischen Kartographie verknüpft sind, wie z.B. Rot mit Wohnen und Grau mit Gewerbe oder Industrie. Die Annahme, dass eine vereinheitlichte Farbgebung für das Gelände für die Darstellung von Vorteil wäre, hat sich nicht in allen Fällen bestätigt.

Die Kombination aus Stadtbürger und Informationsgewinnung zielt darauf ab, in einem erkundenden Modus interessierende und relevante Gebäude, wie z.B. alle Museen oder Kinos innerhalb der Stadt angezeigt zu bekommen. Die abstrakte Darstellung eignet sich in diesem Fall gut, da sie die Freiheiten bietet, die Gebäude auf verschiedenen Arten kenntlich zu machen und dem Nutzer somit die entscheidenden Hinweise zur Lokalisation zu präsentieren. Allen dreidimensionalen Stadtmodellen ist zu eigen, dass nicht alle Objekte aus allen Perspektiven sichtbar sind (Verdeckungen).

In der Zweck-Nutzer Kombination aus Informationsgewinnung und Stadtplaner kann die abstrakte Darstellung ihr ganzes Potential entfalten. Das Stadtmodell soll dem Planer einen Eindruck über die Struktur und Verteilungen innerhalb einer Stadt oder eines Stadtbezirkes vermitteln. Die Nutzungsverteilung könnte ein Anwendungsfall sein, der visualisiert werden soll. Die Abstraktion der Darstellung ermöglicht es, die gewonnenen Freiheitsgrade in der Gestaltung mit anderen Informationen zu belegen, sodass schnell und effizient verständliche Visualisierungen entstehen.

Eine etwas anders gelagerte, aber von ihren Anforderungen ähnliche Kombination ist die aus Stadtbürger und Informationspräsentation. In dieser Kombination soll der Darstellung als „Werbemittel“ für ein neues Gebäude oder einen modernen Umbau dienen. Der Nutzer soll von dem Vorhaben überzeugt werden. Die abstrakte Darstellung verwischt in dieser Kombination den Vergleich von vorhanden und neu. Der Grad der Abstraktion sollte, wenn das Stadtmodell dem beschriebenen Zweck dienen soll, möglichst gering ausfallen. Die Abstraktion behindert in diesem Fall den Vergleich, da eindeutige Gebäudestrukturmerkmale unter Umständen der Generalisierung zum Opfer gefallen sein könnten.

In der letzten Kombination aus Stadtplaner und Informationspräsentation steht die Abschätzung, wie sich vorhandene mit neuer Bebauung verträgt im Vordergrund. Diese Art der Darstellung bedarf keiner zusätzlichen semantischen Information. Die unterschiedlichen Perspektiven sollen Auskunft drüber geben von wo aus und wie neue Gebäude zusammen mit vorhandenem Bestand wirken. Die Informationspräsentation liegt hier in der Darstellung und Beurteilung mehrerer unterschiedlicher Varianten.

Die Arbeit hat gezeigt, dass die Nutzung von Techniken, die den Informationsgehalt abstrahieren sich gut und effizient in Stadtmodellvisualisierungen einsetzen lassen. Andererseits ist auch zutage gefördert worden, dass die Visualisierung sehr stark von den Wünschen und Bedürfnissen und einem Zweck abhängt. Hinzu kommt, dass die Freiheitsgrade der Gestaltung durch die Dreidimensionalität und Interaktionsmöglichkeiten eingeschränkter sind als in der traditionellen Kartographie. Insbesondere die Tiefenhinweise schränken das Spektrum an einsetzbaren graphischen Variablen im Dreidimensionalen ein. Für Darstellungen auf kleinen Displays bietet die Technik der Abstraktion die Vorteile,

dass durch die verringerte Informationsdichte und vereinfachten Gebäudeformen die Darstellungen schneller zu verstehen sind. Für bestimmte Anwendungen sind detaillierte und an der Realität orientierte Stadtmodelle von Nöten, sodass die abstrakte Darstellung nicht ihre Vorteile ausspielen kann. Insbesondere hinsichtlich kleiner Displays ist eine dreidimensionale Darstellung von Stadtmodellen sehr genau abzuwägen.

8.2 Ausblick

Die Arbeit zeigt das Potential dreidimensionaler Stadtmodelle als Informationssystem auf. Ein erster Schritt von einem „nice to have“ hin zu einem „good to have“ ist beschriftet worden. Sie zeigt allerdings auch deutlich, dass die Darstellungsart sehr von einem Anwendungsszenario bzw. einem Nutzer und einem Zweck beeinflusst wird. Der Gestaltungsrahmen muss allerdings noch seine Potentiale in der Anwendung beweisen. Der Bereich der Stadtmodellvisualisierungen ist ein weiter wachsender, wobei eher von dreidimensionalen Informationssystemen gesprochen werden müsste. Zukünftige Entwicklungen werden einen Wechsel in der Denkweise erfordern. Was heute, auch in dieser Arbeit als Visualisierung und Darstellung gemeint und bezeichnet wurde, ist zukünftig als Kommunikation zu denken. Die Kommunikation als umfassende Begrifflichkeit muss mehr in den Fokus der Stadtmodell-Designer und -Benutzer rücken. Die Darstellung bzw. Visualisierung beschreibt einen Prozess, der den Empfänger der Nachricht nicht aktiv miteinbezieht oder „abholt“. Werden Usability-Aspekte beim Design der Visualisierung berücksichtigt, wird in der Darstellung der kommunikative Ansatz betont. Der Nutzer wird von Beginn an in den Prozess mit einbezogen, und ist als Empfänger der Information angesprochen.

Stadtmodelle erweitern das Spektrum der kartographischen Kommunikationsmöglichkeiten. Wo in früheren Jahren zweidimensionale Karten zur Informationskommunikation eingesetzt wurden, kann heute auch das Stadtmodell, die interaktive dreidimensionale Darstellung eingesetzt werden. Die Entwicklung aus dem Stadtmodell ein nutzbares, umfassendes Informationssystem werden zulassen stehen noch am Anfang und bedürfen noch weiterer Anstrengungen. Die Kommunikation thematischer Informationen mit Stadtmodellen ist ein Bereich mit großem Potential. Was mit der traditionellen Kartographie begonnen hat wird jetzt Dreidimensional und kann ebenso in verschiedenen Detailstufen betrachtet werden. Das Stadtmodell als Ganzes, einen Schritt weiter das einzelne Gebäude. Die nächste Entwicklungsstufe geht in das Gebäude hinein und betrachtet den Innenraum für den sich z.B. durch die Gebäudeumrisse, mehrere Stockwerke und einzelne Räume wieder neue Herausforderungen für die Kommunikation ergeben. Als übergeordnetes Ziel kann die Integration aller dieser Betrachtungsweisen gesehen werden. Bei der vertikal durch alle Detaillierungsstufen, begonnen beim Stadtmodell über das Gebäude, deren Innenraum, die einzelnen Stockwerke und Räume, ein einheitliches kartographisches Kommunikationsmodell und ein gesamtes kartographisches Theoriegebäude essentiell ist. Unter Berücksichtigung der heutigen informationstechnischen Möglichkeiten und zukünftigen technologischen und gesellschaftlichen Entwicklungen müssen diese Potentiale erschlossen, ausgebaut und in Kommunikationstemplaten für verschiedene Anwendungsszenarien und Benutzer überführt werden.

8.3 Zukünftige Arbeiten

Wie dreidimensionale Stadtmodelle durch nicht-photorealistische Ansätze kommunikationsunterstützend aufbereitet werden können steht im Fokus dieser Arbeit. Ansätze und Richtungen, für zukünftige wissenschaftliche Arbeiten im Umfeld dreidimensionaler Stadtmodelle sollen zum Schluss nicht unerwähnt bleiben.

Die Berücksichtigung des Nutzers, ein wichtiger Punkt in dieser Arbeit, wie schon mehrfach erwähnt, bildet den Einstieg zur Wahl eines angemessenen Designs und der richtigen Kommunikationsart für das Stadtmodell. Die Evaluierung zur Findung von Nutzern und deren Bedürfnissen findet in dieser Arbeit auf theoretischer Basis statt, die sich nicht auf Umfragen oder Fragebögen stützt. Die in Abschnitt 5.2.3 genannten Usability-Methoden und Ansätze sollen zukünftig dazu dienen, diese Schwachstelle zu beheben. Insbesondere vor den Designentscheidungen durchgeführte Umfragen zu potentiellen Nutzern und deren Bedürfnissen hätten die Arbeit auf eine „praktischere“ Ebene gehoben. Abgesehen von dieser Schwachstelle bilden die Usability-Untersuchungen ein weites Feld, welches bisher wenig bearbeitet wurde. Hierfür würden sich insbesondere Eye-Tracking Untersuchungen anbieten, mit denen der Nutzer in unterschiedlichen Situationen beobachtet und analysiert werden kann. Somit kann auf direktem Wege die Effizienz und Effektivität der Stadtmodell-darstellung für die Informationskommunikation beurteilt werden.

Die bisher betrachteten Visualisierungen waren aus Sicht des Stadtmodells statisch, d.h. in dem Stadtmodell wurden keine aufmerksamkeitssteuernden Effekte, wie Blinken, Größen- oder Farbveränderungen berücksichtigt. Die Betrachtung der Einflüsse solcher Effekte, die noch zu den durch die Betrachtungssoftware vorhandenen Interaktionsmöglichkeiten hinzukommen, ist ein weiteres Feld, welches für die Darstellung dreidimensionaler Stadtmodelle erschlossen werden muss.

9. Literatur

- 9241-11 1999. Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten. Anforderungen and die Gebrauchstauglichkeit - Leitsätze. Deutsches Institut für Normung e.V.
- ABRAHAM, L. & BLOCK, B. 2012. CONNECTED EUROPE - How smartphones and tablets are shifting media consumption.
- ACEVEDO, D., CHEN, J. & LAIDLAW, D. H. 2007. Modeling Perceptual Dominance Among Visual Cues in Multilayered Icon-based Scientific Visualizations. IEEE Visualization Posters.
- ACEVEDO, D. & LAIDLAW, D. H. 2006. Subjective quantification of perceptual interactions among some 2D scientific visualization methods. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 12, 1133 - 1140.
- AKENINE-MÖLLER, T., HAINES, E. & HOFFMAN, N. 2008. Real-Time Rendering, A K Peters.
- ALBERTZ, J. 1997. Sehen, Wahrnehmen und die Wirklichkeit - Zur Einführung in das Thema. In: ALBERTZ, J., ZIMMER, A. C., SEITELBERGER, F., FREITAG, U., MATTENKLOTT, G., FÖRSTNER, W., NEUMANN, H. & STIEHL, H. S. (eds.) Wahrnehmung und Wirklichkeit - Wie wir unsere Umwelt sehen, erkennen und gestalten. Berlin, Germany: Frei Akademie.
- ANDERSON, J. R. 1989. Kognitive Psychologie - Eine Einführung, Heidelberg, Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft.
- ANGSÜSSER, S. 2011. Kartenicons im interkulturellen Vergleich. Dr. rer. nat., Technische Universität München.
- APETRI, M. 2008. 3D-Grafik Programmierung, mitp.
- ARNBERGER, E. 1970. Grundsatzfragen der Kartographie, Wien, Österreichische Kartographische Gesellschaft.
- BARTZ, D., CUNNINGHAM, D. W., FISCHER, J. & WALLRAVEN, C. 2008. State-of-the-Art of the Role of Perception for Computer Graphics. In: THEOHARIS, T. & DUTRÉ, P. (eds.) Proceedings of the 29th Annual Conference Eurographics 2008. Oxford, United Kingdom: Blackwell.
- BAUGB 2011. Baugesetzbuch. Bundesministerium der Justiz.
- BECKER, M. E. 2005. Pixelsalat - von Bildschirmauflösungen, Zeichengrößen und Lesbarkeit. Computer-Fachwissen. Bund Verlag.
- BENDER, M. & BRILL, M. 2006. Computergrafik, Hanser.
- BERTIN, J. 1967. Sémiologie graphic. Les digrammes, les réseaux, les cartes, Paris - France, Mouton / Gauthier-Villars.
- BERTIN, J. 1974. Graphische Semiologie - Diagramme, Netze, Karten, Berlin, New York, Walter de Gruyter.

- BINDER, T. 2006. Usability-Evaluierung von Universitätswebsites. Universität Wien.
- BIRKHOFF, G. D. 1933. Aesthetic Measure, Harvard University Press.
- BLADE, R. A. & PADGETT, M. L. 2002. Virtual Environments Standards and Terminology. In: STANNEY, K. M. (ed.) Handbook of virtual environments - design, implementation and applications. London Erlbaum.
- BLAHA, J. 2012. Limit to Human Vision & its Effect on Optimum Digital Image Resolution [Online]. Available: <http://www.blaha.net/Main%20Visual%20Acuity.php> [Accessed 02.02.2012].
- BLEISCH, S., DYKES, J. & NEBIKER, S. 2008. Evaluating the Effectiveness of Representing Numeric Information Through Abstract Graphics in 3D Virtual Environments. *The Cartographic Journal*, 45, 216-226.
- BOLLMANN, J. & KOCH, W. G. 2001. Lexikon der Kartographie und Geomatik, Heidelberg, Berlin, Spektrum Akademischer Verlag.
- BORTZ, J. & DÖRING, N. 2005. Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler, Heidelberg, Springer.
- BOWMAN, D. A., GABBARD, J. L. & HIX, D. 2002. A Survey of Usability Evaluation in Virtual Environments: Classification and Comparison of Methods. *PRESENCE*, 11, 21.
- BROCKHAUS 2006. Brockhaus - Enzyklopädie Leipzig: Brockhaus.
- BRUNNER, K. 2001. Kartengestaltung für elektronische Bildanzeigen. In: KOCH, W. G. (ed.) Theorie 2000. Dresden.
- BUCHHOLZ, H., DÖLLNER, J., NIENHAUS, M. & KIRSCH, F. Real-Time Non-Photorealistic Rendering of 3D City Models. 1. International Workshop on „Next Generation 3D City Models“, 2006 Bonn.
- BÜHNER, M. 2007. Einführung in die Test- und Fragebogenkonstruktion, München, Germany, Pearson Studium.
- BUNCH, R. L. & LLOYD, R. E. 2006. The Cognitive Load of Geographic Information. *The Professional Geographer*, 58, 209-220.
- BUNGARTZ, H.-J., GRIEBEL, M. & ZENGER, C. 2002. Einführung in die Computergraphik, Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg.
- BURGHARDT, D. & WIRTH, K. 2011. Comparison of Evaluation Methods for Field-Based Usability Studies of Mobile Map Applications. International Cartographic Conference 2011. Paris.
- BUZIEK, G. 2001. Eine Konzeption der Kartographischen Visualisierung. *venia legendi*, Leibniz Universität Hannover.
- CAWTHON, N. & MOERE, A. V. 2006. A conceptual model for evaluating aesthetic effect within the user experience of information visualization IV ,06: Proceedings of the conference on information visualization Washington DC, USA: IEEE Computer Society.
- CHINCHOR, N., HANRAHAN, P., GEORGE, G. R. & ROSE, R. 2005. Illuminating the path: The research and development agenda for visual analytics, IEEE Computer Society.

- CHRISTOPHE, S. 2009. Making Legends By Means of Painters' Palettes. In: CARTWRIGHT, W., GARTNER, G. & LEHN, A. (eds.) *Cartography and Art*. Springer.
- COLE, F., DECARLO, D., FINKELSTEIN, A., KIN, K., MORLEY, K. & SANTELLA, A. Directing Gaze in 3D Models with Stylized Focus. *Rendering Techniques 2006, Proceedings of the 17th Eurographics Symposium on Rendering 2006 Nicosia, Cyprus*. 377-387.
- DARKEN, R. P. & SIBERT, J. L. 1996a. Navigating large virtual spaces. *International Journal of Human Computer Interaction*, 8, 49-71.
- DARKEN, R. P. & SIBERT, J. L. *Wayfinding Strategies and Behaviors in Large Virtual Worlds*. CHI 96, 1996b.
- DECARLO, D., FINKELSTEIN, A., RUSINKIEWICZ, S. & SANTELLA, A. 2003. Suggestive contours for conveying shape. *ACM Trans. Graph.*, 22, 848-855.
- DIBIASE, D., MACEACHREN, A. M., KRYGIER, J. & REEVES, C. 1992. Animation and the Role of Map Design in Scientific Visualization. *Cartography and Geographic Information Systems*, 19, 201-214.
- DÖLLNER, J., BAUMANN, K. & BUCHHOLZ, H. Virtual 3D City Models as Foundation of Complex Urban Information Spaces. In: SCHRENK, M., ed. *CORP 2006 & Geomultimedia06*, 2006 Vienna.
- DÖLLNER, J., BAUMANN, K. & KERSTING, O. 2003. LandXplorer - ein System für Interaktive 3D Karten. *Kartographische Schriften*, 7, 67-76.
- DÖLLNER, J., BUCHHOLZ, H., NIENHAUS, M. & KIRSCH, F. 2005. Illustrative Visualization of 3D City Models. *Proceedings of Visualization and Data Analysis (Electronic Imaging 2005, SPIE Proceedings)*.
- DÖLLNER, J. & KYPRIANIDIS, J. E. 2009. Approaches to Image Abstraction for Photorealistic Depictions of Virtual 3D Models. In: GARTNER, G. & ORTAG, F. (eds.) *Proceedings of the First ICA Symposium for Central and Eastern Europe 2009*. Vienna, Austria.
- DÖLLNER, J. & WALTHER, M. Real-time expressive rendering of city models. *Proceedings of the 7th International Conference on Information Visualization*, 2003.
- DUDEN 2006. *Duden - Das Fremdwörterbuch*, Mannheim, Leipzig, Wien, Zürich, Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG.
- DURRANT, M. 1993. *Aristotle's De Anima in focus*, London, Routledge.
- ELIAS, B. & PAELKE, V. 2008. User-centred design of landmark visualizations. In: MENG, L., ZIPF, A. & WINTER, S. (eds.) *Map-based Mobile Services: Design, Interaction and Usability*. Springer.
- EU 2002. RICHTLINIE 2002/49/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm.
- FAN, H. 2010. *Integration of time-dependent features within 3D city model*. Dr.-Ing., Technische Universität München.
- FAN, H., MENG, L. & JAHNKE, M. 2009. Generalization for 3D Buildings Modeled by CityGML. In: SESTER, M., BERNARD, L. & PAELKE, V. (eds.) *Advances in GIScience Heidelberg*, Berlin: Springer.

- FAYYAD, U., GRINSTEIN, G. G. & WIERSE, A. 2002. Information Visualization in Data Mining and Knowledge Discovery, San Francisco, USA, Morgan Kaufmann.
- FELBIER, A. 2008. Erzeugung nicht-photorealistischer Abbildungen mit Segmentierungs- und morphologischen Algorithmen. Department of Cartography, Technische Universität München.
- FIETZ, L. 1998. Strukturalismus - Eine Einführung, Tübingen, Germany, Gunter Narr Verlag.
- FÖRSTNER, W. 1999. Automatic and Semiautomatic Acquisition Methods. In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (eds.) Photogrammetric Week 1999. Heidelberg: Wichmann Verlag.
- FREDERICK, M. 2007. 101 Things I Learned in Architecture School, London, The MIT Press.
- FRICKE, L. 2008. Praktische Beispiele zum Einsatz von 3D Stadtmodellen in der Stadtplanung. 56 Deutscher Kartographentag der DGFK. Oldenburg, Germany.
- FRIEDMANNOVÁ, L. 2009. What Can We Learn from the Masters? Color Schemas on Paintings as the Source for Color Ranges Applicable in Cartography. In: CARTWRIGHT, W., GARTNER, G. & LEHN, A. (eds.) Cartography and Art. Springer.
- GERRIG, R. J. & ZIMBARDO, P. G. 2008. Psychologie, München, Boston, Pearson Studium.
- GOOCH, A., GOOCH, B., SHIRLEY, P. & COHEN, E. A non-photorealistic lighting model for automatic technical illustration. Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, 1998. ACM Press, 447-452.
- GOOCH, A. A. & WILLEMSSEN, P. 2002. Evaluating space perception in NPR immersive environments. Proceedings of the 2nd International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering (NPAR). Annecy, France: ACM.
- GOOCH, B. & GOOCH, A. 2001. Non-Photorealistic Rendering, AK Peters, Ltd.
- GRELLERT, M. 2007. Immaterielle Zeugnisse - Synagogen in Deutschland, Transcript Verlag.
- GRÜNREICH, D. 1985. Untersuchungen zu den Datenquellen und zur rechnergestützten Herstellung des Grundrisses großmaßstäbiger topographischer Karten, Hannover, Germany.
- HAALA, N. & KADA, M. 2005. Panoramic Scenes for Texture Mapping of 3D City Models. In: REULKE, R. & KNAUER, U. (eds.) 2. Panoramic Photogrammetry Workshop. Berlin, Germany.
- HÄBERLING, C. 2003. Topografische 3D-Karten: Thesen für kartografische Gestaltungsgrundsätze. PhD, ETH Zürich.
- HAKE, G., GRÜNREICH, D. & MENG, L. 2002. Kartographie, Berlin, de Gruyter.
- HALPER, N., MELLIN, M., HERRMANN, C. S., LINNEWEBER, V. & STROTHOTTE, T. 2003a. Psychology and Non-Photorealistic Rendering: The Beginning of a Beautiful Relationship. In: SZWILLUS, G. & ZIEGLER, J. (eds.) Mensch & Computer 2003: Interaktion in Bewegung. Stuttgart: B.G. Teubner.

- HALPER, N., MELLIN, M., HERRMANN, C. S., LINNEWEBER, V. & STROTHOTTE, T. 2003b. Towards an Understanding of the Psychology of Non-Photorealistic Rendering. In: SCHNEIDER, J., STROTHOTTE, T. & MAROTZKI, W. (eds.) Proceedings: Workshop Computational Visualistics, Media Informatics and Virtual Communities Wiesbaden, Germany: Deutscher Universitäts-Verlag.
- HAYAKAWA, S. I. 1967. Semantik - Sprache im Denken und Handeln, Darmstadt, Verlag Darmstädter Blätter.
- HEALEY, C. G., BOOTH, K. S. & ENNS, J. T. 1996. High-speed visual estimation using pre-attentive processing. *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 3, 107-135.
- HEALEY, C. G. & ENNS, J. T. 1998. Building perceptual textures to visualize multidimensional datasets. Proceedings of the conference on Visualization '98. Research Triangle Park, North Carolina, United States: IEEE Computer Society Press.
- HENGSTLER, W. 2012. Generierung von Umweltdatenbasen für die Simulationssysteme des Heeres. In: KOCH, A., KUTZNER, T. & EDER, T. (eds.) Geoinformationssysteme - Beiträge zum 17. Münchner Fortbildungsseminar 2012. München: Wichmann.
- HERMANN, F. & PEISSNER, M. 2003. Usability Engineering für kartographische Visualisierungen: Methoden und Verfahren. *Kartographische Nachrichten*, 6, 260-265.
- HERTZMANN, A. 2010. Non-Photorealistic Rendering and the science of art. Proceedings of the 8th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering. Annecy, France: ACM.
- HIX, D. & HARTSON, H. R. 1993. Developing user interfaces: Ensuring usability through product & process, New York, John Wiley & Sons
- IMHOF, E. 1965. Kartographische Geländedarstellung, Walter de Gruyter.
- IMHOF, E. 1972. Thematische Kartographie, Walter de Gruyter & Co.
- JAHNKE, M., BERGER, T., DONAUBAUER, A. & KRISP, J. 2011a. Nicht fotorealistische Darstellung von 3D-Stadtmodellen. *Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 279.
- JAHNKE, M., FAN, H. & MENG, L. 2009a. A User Perspective on Typification of Facade Features of 3D Building Models. International Cartographic Conference 2009. Santiago de Chile.
- JAHNKE, M., KRISP, J. M. & KUMKE, H. 2011b. How Many 3D City Models Are There? - A Typological Try. *The Cartographic Journal*, 48, 124-130.
- JAHNKE, M., MENG, L., KYPRIANIDIS, J. E. & DÖLLNER, J. 2009b. Non-photorealistic Rendering on Mobile Devices and Usability Concerns. In: LIN, H. & BATTY, M. (eds.) Virtual Geographic Environments. Hongkong: Science Press.
- JAHNKE, M., YUEQIN, Z. & MENG, L. 2012. Parametrisierbare semantische Anreicherung des DLM-DE und Untersuchung zur Visualisierung. München: Lehrstuhl für Kartographie.
- JENNY, B. J., JENNY, H. & RÄBER, S. 2008. Map Design for the Internet. In: PETERSON, M. P. (ed.) International Perspectives on Maps and the Internet. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.

- JI, Q. & ZHU, Z. 2003. Non-intrusive Eye and Gaze Tracking for Natural Human Computer Interaction. *MMI-Interaktiv*, 6.
- JOOS, G. 1999. Zur Qualität von objektstrukturierten Daten. Dr.-Ing., Universität der Bundeswehr.
- KADA, M. 2007. Zur maßstabsabhängigen Erzeugung von 3D Stadtmodellen. Dr.-Ing., Universität Stuttgart.
- KADA, M., KLINEC, D. & HAALA, N. 2005. Facade Texturing for Rendering 3D City Models. ASPRS 2005 Annual Conference „Geospatial Goes Global: From Your Neighborhood to the Whole Planet“. Baltimore, Maryland.
- KEMP, S. 1996. *Cognitive Psychology in the Middle Ages*, Westport, CT, Greenwood Press.
- KNERR, B. W., BREAU, R., GOLDBERG, S. L. & THURMAN, R. A. 2002. National Defense. In: STANNEY, K. M. (ed.) *Handbook of virtual environments - design, implementation and applications*. London: Erlbaum.
- KOBSA, A. 1993. User Modeling: Recent Work, Prospects and Hazards. In: SCHNEIDERHUFSCHMIDT, M., KÜHME, T. & MALINOWSKI, U. (eds.) *Adaptive User Interfaces: Principles and Practice*. Amsterdam: North-Holland.
- KOLBE, T. H. 2008. Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML. *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (LNGC)*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- KORNFELD, A. L., SCHIEWE, J. & DYKES, J. 2011. Audio Cartography: Visual Encoding of Acoustic Parameters. In: RUAS, A. (ed.) *Advances in Cartography and GIScience*. Heidelberg, London, New York: Springer.
- KRAAK, J.-M. 1998. *Computer-assisted cartographical three-dimensional imaging techniques*, Delft, Delft University Press
- KRAMERS, E. R. 2008. Interaction with Maps on the Internet - A User Centred Design Approach for The Atlas of Canada. *The Cartographic Journal*, 45, 98-107.
- KRAMERS, E. R. 2009. Users Surveys - „Who, What, Where, When, Why“. *International Cartography Conference 2009*. Santiago de Chile, Chile.
- KRAUS, K. 1996. *Photogrammetrie*, Bonn, Dümmler.
- KRISP, J., PETERS, S., MURPHY, C. E. & FAN, H. 2009. Visual Bandwidth Selection for Kernel Density Maps. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation (PFG)*, 5, 441 - 450.
- KRIZ, K. 1999. Perspektiven in der Kartographie. In: KRETSCHMER, I. & KRIZ, K. (eds.) *25 Jahre Studiengang Kartographie - Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie*. Wien.
- KRIZ, K. 2001. Kartographische Ansichten im neuen Millennium. In: BUZIN, R. & WINTGES, T. (eds.) *Kartographie 2001 - multidisziplinär und multidimensional*. Heidelberg: Wichmann Verlag.
- KUIPERS, B. 1982. The „Map in the Head“ Metaphor. *Environment and Behaviour*, 14, 202 - 220.
- KUMKE, H. 2011. *Kartographische Anreicherung von Gebäudefassaden mit thermalen Bilddaten*. Dissertation, Technische Universität München.

- KYPRIANIDIS, J. E. & DÖLLNER, J. 2008. Image Abstraction by Structure Adaptive Filtering. In: LIM, I. S. & TANG, W. (eds.) Theory and Practice of Computer Graphics. Manchester, UK.
- LANGE, E., SCHROTH, O. & WISSEN, P. 2003. Interaktive Landschaftsentwicklung. *Disp*, 155, 29 - 37.
- LI, Z., YAN, H., AI, T. & CHEN, J. 2004. Automated building generalization based on urban morphology and Gestalt theory. *International Journal of Geographical Information Science*, 18, 513-534.
- LIENERT, G. A. & RAATZ, U. 1998. Testaufbau und Testanalyse, BELTZ Psychologische Verlags Union.
- LOBBEN, A. K. 2004. Tasks, Strategies, and Cognitive Processes Associated With Navigational Map Reading: A Review Perspective. *The Professional Geographer*, 56, 270-281.
- LOBBEN, A. K., OLSON, J. M. & HUANG, J. 2005. Using fMRI in Cartographic Research. Proceedings of the 22nd International Cartographic Conference. A Coruna, Spain.
- LUEBKE, D., REDDY, M., COHEN, J. D., VARSHNEY, A., WATSON, B. & HUEBNER, R. 2003. Level of Detail for 3D Graphics, San Francisco, Morgan Kaufmann
- LUO, X., KENYON, R., KAMPER, D., SANDIN, D. & DEFANTI, T. 2007. The Effects of Scene Complexity, Stereovision, and Motion Parallax on Size Constancy in a Virtual Environment. *IEEE Virtual Reality Conference 2007*.
- MACEACHREN, A. M. 1995. *How Maps Work: Representation, Visualization, and Design*, The Guilford Press.
- MACEACHREN, A. M. & KRAAK, J.-M. 2001. Research Challenges in Geovisualization *Cartography and Geographic Information Science*, 28, 3-12.
- MAY, J. G. & BADCOCK, D. R. 2002. Vision and Virtual Environments. In: STANNEY, K. M. (ed.) *Handbook of Virtual Environments - design, implementation and applications*. London Erlbaum.
- MAYHEW, D. J. 1999. *The Usability Engineering Lifecycle: a practitioner's handbook for user interface design*, San Francisco, USA, Morgan Kaufmann Publishers.
- MENG, L. Missing Theories and Methods in Digital Cartography. Proceedings of the 21st International Cartographic Conference, 2003 Durban.
- MENG, L. 2004a. About Egocentric Geovisualisation. *Geoinformatics 2004*. University of Gävle, Sweden.
- MENG, L. 2004b. Methoden zur Gestaltung egozentrischer Karten. Symposium 2004. Königslutter am Elm.
- MENG, L. 2005. Egocentric Design of Map-Based Mobile Services. *The Cartographic Journal*, 42, 5-13.
- MENG, L. 2006. Mobile Geovisualisierungsdienste und ihre Gebrauchstauglichkeit. 125 Jahre Geodäsie und Geoinformatik. Hannover.

- MENG, L. 2008. The State of the Art of Map-based Mobile Services. In: MENG, L., ZIPF, A. & WINTER, S. (eds.) *Map-based Mobile Services: Design, Interaction and Usability* Springer.
- MENG, L. & FORBERG, A. 2007. 3D Building Generalisation. In: MACKANESS, W. A., RUAS, A. & SARJAKOSKI, L. T. (eds.) *Generalisation of Geographic Information: Cartographic Modelling and Applications*. Elsevier.
- MENG, L., HEIPKE, C., MAYER, H. & CHEN, J. 2007. Interoperation of 3D Urban Geoinformation Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation 6, 401 -- 404.
- MIDDEL, A., GUHATHAKURTA, S., HAGEN, H., OLECH, P.-S. & HÖPEL, F. 2008. Visualizing Future 3-Dimensional Neighbourhoods in Phoenix: An Application Incorporating Empirical Methods with Computational Graphics. *Virtual Geographic Environment 2008*. Hongkong.
- MILGRAM, P., TAKEMURA, H., UTSUMI, A. & KISHINO, F. 1994. Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. *Telem manipulator and Telepresence Technologies*, 23, 51-34.
- MILLER, G. A. 1956. The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review*, 63, 81-97.
- MONNOT, J.-L., HARDY, P. & LEE, D. 2006. An Optimization Approach to Constraint-Based Generalization in a Commodity GIS Framework. *ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation*. Vancouver, USA.
- MONTELLO, D. 2002. Cognitive Map-Design Research in the Twentieth Century: Theoretical and Empirical Approaches. *Cartography and Geographic Information Science*, 29, 283-304.
- MÜLLER, A. 2012. Die GeoInfo-Unterstützung der Bundeswehr - Sachstand und Perspektiven. In: KOCH, A., KUTZNER, T. & EDER, T. (eds.) *Geoinformationssysteme - Beiträge zum 17. Münchner Fortbildungsseminar 2012*. München: Wichmann.
- NEISSER, U. 1979. *Kognition und Wirklichkeit*, Stuttgart, Klett-Cotta.
- NEUDECK, S. 2001. *Zur Gestaltung topographischer Karten für die Bildschirmvisualisierung*. Dr.-Ing., Universität der Bundeswehr.
- NIELSEN, J. 1993. *Usability Engineering*, Academic Press.
- NIENHAUS, M. & DÖLLNER, J. 2003. Edge-Enhancement - An Algorithm for Real-Time Non-Photorealistic Rendering. *Journal of the International Winterschool of Computer Graphics*, 11, 346-353.
- NISCHWITZ, A., FISCHER, M., HABERÄCKER, P. & SOCHER, G. 2012. *Computergrafik und Bildverarbeitung - Band I: Computergrafik*, Vieweg + Teubner Verlag.
- NOBLE, I. & BESTLEY, R. 2005. *Visuelle Forschung - Eine Einführung in die wissenschaftliche Methodologie des Grafik-Design*, AVA Publishing SA.
- O'REILLY, T. 2005. What is Web 2.0? Design Pattern and Business Models for the Next Generation of Software [Online]. Available: <http://www.oreilly.de/artikel/web20.html> [Accessed 03.02.2012].
- OGC 2005. *OpenGIS® Web Feature Service Implementation Specification*. Open Geospatial Consortium.

- OGC 2006. OpenGIS® Web Map Server Implementation Specification. Open Geospatial Consortium.
- OGC 2007. OpenGIS® Web Processing Service. Open Geospatial Consortium.
- OGC 2008. OpenGIS® City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard. Open Geospatial Consortium.
- OGC 2012. OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard. Open Geospatial Consortium.
- OGRISSEK, R. 1983. Kartenkunde ABC, Leipzig, Verlag Harri Deutsch.
- OHLHOF, T. 2012. GIS für Verteidigung und Sicherheit. In: KOCH, A., KUTZNER, T. & EDER, T. (eds.) Geoinformationssysteme - Beiträge zum 17. Münchner Fortbildungsseminar 2012. München: Wichmann.
- OSWALD, A. 2011. Modellbau für Architekten: Handbuch und Planungshilfe, Dom Publishers.
- PALMER, S. E. 1992. Common region: A new principle of perceptual grouping. *Cognitive Psychology*, 24, 436-447.
- PALMER, S. E. 1999. *Vision Science - Photons to Phenomenology*, Cambridge, USA, MIT Press.
- PALMER, S. E., NEFF, J. & BECK, D. 1996. Late influences on perceptual grouping: Amodal completion. *Psychonomic Bulletin and Review*, 3, 75-80.
- PALMER, S. E. & ROCK, I. 1994. Rethinking perceptual organization: The role of uniform connectedness. *Psychonomic Bulletin and Review*, 1, 29-55.
- PLESA, M. A. & CARTWRIGHT, W. 2008. Evaluating the Effectiveness of Non-Realistic 3D Maps for Navigation with Mobile Devices. In: MENG, L., ZIPF, A. & WINTER, S. (eds.) *Map-based Mobile Services: Design, Interaction and Usability*. Springer.
- POCHAT, G. 1986. *Geschichte der Ästhetik und Kunsttheorie*, Köln, DuMont Buchverlag.
- RÄBER, S. & JENNY, B. J. 2001. Attraktive Webkarten - ein Plädoyer für gute Kartengrafik. In: ASCHE, H. (ed.) *Symposium Web-Mapping 2001*. Karlsruhe.
- RASE, W.-D. 2009. Visualization of three-dimensional GIS objects using rapid prototyping technology. *GeoViz 09*. Hamburg, Germany.
- REICHENBACHER, T. 2004. *Mobile Cartography - Adaptive Visualisation of Geographic Information on Mobile Devices*. Dr. rer. nat., Technische Universität München.
- REICHENBACHER, T. 2005. Adaptive egocentric maps for mobile users. In: MENG, L., ZIPF, A. & REICHENBACHER, T. (eds.) *Map-based Mobile Services - Theories, Methods and Implementations*.
- REICHENBACHER, T. 2007. The concept of relevance in mobile maps. In: GARTNER, G., CARTWRIGHT, W. & PETERSON, M. P. (eds.) *Locations Based Services and Telecartography*. Berlin, Heidelberg: Pringer.
- REICHENBACHER, T. & SWIENTY, O. 2006. Relevanz und Kognition in der mobilen Geovisualisierung. *Kartographische Schriften*, 10, 83-90.
- ROBINSON, T. M. 1995. *Plato's Psychology*, University of Toronto Press.

- ROSSON, M. B. & CARROLL, J. M. 2002. Usability Engineering, San Francisco, Morgan Kaufmann.
- RUNK, C. 2011. Grundkurs Grafik und Gestaltung, Bonn, Galileo Press.
- SALAS, E., OSER, R. L., CANNON-BOWERS, J. A. & DASKAROLIS-KRING, E. 2002. Team Training in Virtual Environments: An Event-based Approach. In: STANNEY, K. M. (ed.) Handbook of virtual environments - design, implementation and applications. London Erlbaum.
- SANTELLA, A. & DECARLO, D. 2002. Abstracted painterly renderings using eye-tracking data. Proceedings of the 2nd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering. Annecy, France: ACM.
- SANTELLA, A. & DECARLO, D. 2004a. Robust clustering of eye movement recordings for quantification of visual interest. Proceedings of the 2004 symposium on Eye tracking research & applications. San Antonio, Texas: ACM.
- SANTELLA, A. & DECARLO, D. 2004b. Visual interest and NPR: an evaluation and manifesto. Proceedings of the 3rd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering. Annecy, France: ACM.
- SARODNICK, F. & BRAU, H. 2011. Methoden der Usability Evaluation, Bern, Verlag Hans Huber.
- SAYEED, R. & HOWARD, T. 2006. State of the Art Non-Photorealistic Rendering (NPR) Techniques. In: MCDERBY, M. & LEVER, L. (eds.) Theory and Practice of Computer Graphics. Eurographics UK.
- SCHAER, P. & HEUSER, H. 2006. Grundlagen der Kognition und Perzeption für die Software-Ergonomie. Universität Koblenz-Landau, Institut für Computervisualistik.
- SCHIEDE, H. 1970. Das Element Farbe in der thematischen Kartographie. In: ARNBERGER, E. (ed.) Grundsatzfragen der Kartographie. Wien: Österreichische Kartographische Gesellschaft.
- SCHIESSL, M., DUDA, S., THÖLKE, A. & FISCHER, R. 2003. Eye tracking and its application in usability and media research. MMI-Interaktiv, 6.
- SESTER, M. & KLEIN, A. 1999. Rule Based Generalization of Buildings for 3D-Visualization. Proceedings of the 19th International Cartographic Conference. Ottawa, Canada.
- SHANNON, C. E. 1948. A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal, 23, 379-423 and 623-656.
- SLOCUM, T., BLOK, C., JIANG, B., KOUSSOULAKOU, A., MONTELLO, D., FUHRMANN, S. & HEDLEY, N. 2001. Cognitive and Usability Issues in Geovisualization. Cartography and Geographic Information Science, 28, 61-75.
- SLOCUM, T., MCMASTER, R. B., KESSLER, F. C. & HOWARD, H. H. 2005. Thematic Cartography and Geographic Visualization.
- SONDEREGGER, A. & SAUER, J. 2010. The influence of design aesthetics in usability testing: Effects on user performance and perceived usability. Applied Ergonomics 41, 403 - 410.

- SPIESS, E. 1973. Eigenschaften von Kombinationen graphischer Variablen. In: ARNBERGER, E. (ed.) Grundsatzfragen der Kartographie. Wien: Österreichische Kartographische Gesellschaft.
- STACHOWIAK, H. 1973. Allgemeine Modelltheorie, Springer.
- STARK, M. 2005. Modellgestützte Kostenprognose für den Aufbau qualitätsgesicherter Geodatenbestände. Dr.-Ing., Universität Stuttgart.
- STEINRÜCKEN, J. 2009. Automatisierte Erzeugung personalisierter ad-hoc-Karten in einem Service-basierten GIS (Mapping on Demand). Dr.-Ing., Universität Bonn.
- STEINRÜCKEN, J. & PLÜMER, L. 2009. A Web Service to Personalize Map Coloring. International Cartography Conference 2009. Santiago de Chile, Chile.
- STERNAD, D. 2012. Farbpsychologie: Farben - ein ideales Manipulationsinstrument [Online]. Available: <http://www.grafixerin.com/bilder/Farbpsychologie.pdf> [Accessed 03.02.2012].
- STERNBERG, R. J. 2003. Cognitive Psychology, Belmont, USA, Thomson Wadsworth.
- STONE, R. J. 2002. Applications of Virtual Environment: An Overview. In: STANNEY, K. M. (ed.) Handbook of virtual environments - design, implementation and applications. London Erlbaum.
- STROTHOTTE, T. & SCHLECHTWEG, S. 2002. Non-Photorealistic Computer Graphics: Modeling, Rendering and Animation, Morgan Kaufmann.
- SWIENTY, O. 2008. Attention Guiding Geovisualisation - A cognitive approach of designing relevant geographic information. Dr. rer. nat. PhD, Technische Universität München.
- SWIENTY, O., JAHNKE, M., KUMKE, H. & REPPERMUND, S. 2008a. Effective Visual Scanning of Geographic Information. In: SEBILLO, M., VITIELLO, G. & SCHAEFER, G. (eds.) Visual Information Systems. Web-Based Visual Information Search and Management. Heidelberg, Berlin: Springer.
- SWIENTY, O., REICHENBACHER, T., REPPERMUND, S. & ZIHL, J. 2008b. The Role of Relevance and Cognition in Attention-guiding Geovisualisation. The Cartographic Journal, 45, 227-238.
- SWIENTY, O., ZHANG, M., REICHENBACHER, T. & MENG, L. Establishing a neurocognition-based taxonomy of graphical variables for attention-guiding geovisualisation. Geoinformatics 2007: Cartographic Theory and Models, 2007 Nanjing, China. SPIE, 675109-13.
- TAINZ, P. & KOCH, W. G. 2002. Kartographische Zeichentheorie. In: BOLLMAN, J. & KOCH, W. G. (eds.) Lexikon der Kartographie und Geomatik. Heidelberg, Berlin: Spektrum.
- TATEOSIAN, L. G., HEALEY, C. G. & ENNS, J. T. 2007. Engaging Viewers Through Nonphotorealistic Visualizations. Proceedings of Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering
- THEEUWES, J., KRAMER, A. F., HAHN, S. & IRWIN, D. E. 1998. Our Eyes do Not Always Go Where we Want Them to Go: Capture of the Eyes by New Objects. Psychological Science, 9.

- THIEMANN, F. & SESTER, M. 2004. Segmentation of Buildings for 3D-Generalisation. ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation. Leicester, UK.
- THIEMANN, F. & SESTER, M. 2006. 3D-Symbolization using Adaptive Templates. Proceedings of the GICON 2006. Vienna, Austria.
- VIRRANTAU, K., FAIRBAIRN, D. & KRAAK, J.-M. 2009. ICA Research Agenda on Cartography and GI Science. *The Cartographic Journal*, 46, 63-75.
- WEISER, P. 2008. Developing user models for multi-modal navigation scenarios. Dipl.-Ing., Hochschule für angewandte Wissenschaften FH München.
- WERTHEIMER, M. 1923. Laws of Organization in Perceptual Forms. In: ELLIS, W. (ed.) *A source book of Gestalt psychology*. London: Routledge & Kegan Paul.
- WERTHEIMER, M. 1925. Über Gestalttheorie. *Philosophische Zeitschrift für Forschung und Aussprache*, 1, 39-60.
- WIKIPEDIA. 2012. Punktdichte - Wikipedia, die freie Enzyklopädie [Online]. Available: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Punktdichte&oldid=102842764> [Accessed 15.05.2012].
- WILTSCSKO, T. 2003. Sichere Information durch infrastrukturgestützte Fahrerassistenzsysteme zur Steigerung der Verkehrssicherheit an Straßenknotenpunkten. Dr.-Ing., Universität Stuttgart.
- WOLFE, J. M. & HOROWITZ, T. S. 2004. What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it. *Nature Reviews - Neuroscience*, 5, 1-7.
- YANTIS, S. & JONIDES, J. 1996. Attentional Capture by Abrupt Onsets: New Perceptual Objects or Visual Masking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22.

Anhang

Farbassoziationen

Farbe und ihre Assoziationen zusammengetragen aus Sternad (2012)

Farbe	Assoziation
Blau	Ruhe, Distanz, Kalt, Treue, Sicherheit, Tiefe, Urlaub, alkoholisches
Rot	Lebenskraft, Leidenschaft, Feuer, Hitze, Stärke, Auffälligkeit, Zwischenmenschliche Aggression, Aktivierend
Weiß	Reinheit, Sauberkeit, Kälte, Frieden, Sport, Wahrheit, Langweilig
Schwarz	Elegant, Exklusiv, Kraft, Macht, Sachlichkeit, Technik, Nichts, Trauer, Finsternis, Gefährlich
Gelb	Unruhe, Dynamik, Wärme, Freude, Reichtum, Neid, Aufmerksamkeit
Grün	Natur, Jugend, Ruhe, Heilwirkung, Gift, Verdorbenes, Sauer
Braun	Solide, Behaglichkeit, Alltag, Vergangenheit, Tiere, Hässlich, Ärmlich
Orange	Auffällig, aufregend, fröhlich, billig
Violett	Macht, Kirche, Magie, Modisch, Individualität, Gefahr, Gift, Schwermut
Rosa	Weiblich, Modisch, Süß, Schwach, Gemütlich
Gold	Untechnisch, Pracht, Prunk, Sonne, Ewig, Glück, Erfolg, Teuer
Silber	Zweitrangig, Geld, Zart, Kalt, Unnahbar

Farbkreis

Farbnamen

1. Gelb
2. Gelborange
3. Orangerot
4. Rot
5. Purpurrot
6. Rotviolett
7. Violett
8. Mittelblau
9. Cyanblau
10. Blaugrün
11. Grün
12. Gelbgrün



Der Farbkreis nach Schiede (1970)