

Heft 74

Neubiberg, 2001

S. Neudeck

Zur Gestaltung
topografischer Karten
für die Bildschirmvisualisierung

SCHRIFTENREIHE

STUDIENGANG GEODÄSIE UND GEOINFORMATION
UNIVERSITÄT DER BUNDESWEHR MÜNCHEN



S. Neudeck

Zur Gestaltung
topografischer Karten
für die Bildschirmvisualisierung

SCHRIFTENREIHE

STUDIENGANG GEODÄSIE UND GEOINFORMATION
UNIVERSITÄT DER BUNDESWEHR MÜNCHEN



Der Druck dieses Heftes wurde aus Haushaltsmitteln der Universität der Bundeswehr München gefördert.

Auflagenhöhe: 400

Verantwortlich für die Herausgabe der Schriftenreihe:

Der Prodekan des Studiengang Geodäsie und Geoinformation der Universität der Bundeswehr München

Bezugsnachweis:

Universität der Bundeswehr München
Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen
Studiengang Geodäsie und Geoinformation
Werner-Heisenberg-Weg 39
D - 85577 Neubiberg

ISSN 0173 - 1009

Zur Gestaltung topografischer Karten für die Bildschirmvisualisierung

Stefan Neudeck

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität der Bundeswehr München zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reinhardt
1. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Wilhelm Caspary
2. Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kurt Brunner

Diese Dissertation wurde am 1. März 2001 bei der Universität der Bundeswehr München eingereicht.

Tag der mündlichen Prüfung: 11. Juni 2001

1	EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG.....	1
2	GRUNDLAGEN.....	5
2.1	CHARAKTERISTIK KARTOGRAFISCHER DARSTELLUNGEN	5
2.1.1	Raumbezug.....	5
2.1.2	Sachlicher Bezug – topografische und thematische Karten	5
2.1.3	Zeitlicher Bezug	6
2.1.4	Maßstabbereiche.....	6
2.2	KARTOGRAFISCHES ZEICHENSYSTEM.....	7
2.2.1	Grafische Triviale, zusammengesetzte Zeichen und grafische Gefüge.....	7
2.2.2	Schrift.....	7
2.2.3	Grafische Variable.....	7
2.3	KARTOGRAFISCHE GESTALTUNGSMITTEL	10
2.4	PERZEPTIVE SCHWELLEN	10
2.4.1	Auflösungsvermögen des Auges	11
2.4.2	Mindestzeichengröße in Abhängigkeit vom Betrachtungsabstand	11
2.4.3	Kartografische Mindestgrößen und –abstände für normalen Leseabstand.....	12
2.4.4	Kartografische Mindestmaße bei größerem Betrachtungsabstand	13
2.5	GEDRUCKTE KARTEN.....	14
2.5.1	Papier.....	14
2.5.2	Auflagedruck.....	14
2.5.3	Kommunikationssituation bei gedruckten Karten	15
2.6	KARTOGRAFISCHE DARSTELLUNGEN AM BILDSCHIRM	16
2.6.1	Auflösung und Bildpunkt.....	16
2.6.2	Datentypen	16
2.6.3	Anwendungsarten.....	17
3	BILDSCHIRM- UND PROJEKTIONSTECHNIK.....	19
3.1	GRAFIKKARTE	19
3.2	KATHODENSTRAHLRÖHREN	20
3.2.1	Bilderzeugung	20
3.2.2	Typen.....	21
3.2.3	Technische Spezifikation	23
3.2.4	Neue Entwicklungen	24
3.3	FLÜSSIGKRISTALLBILDSCHIRME	24
3.3.1	Bilderzeugung	25
3.3.2	Aktivmatrix- und Passivmatrixverfahren.....	25
3.3.3	Technische Spezifikation	26
3.3.4	Neue Entwicklungen	27
3.4	PLASMABILDSCHIRME.....	27
3.4.1	Bilderzeugung	27
3.4.2	Technische Spezifikation	28
3.5	WEITERE BILDSCHIRMTECHNIKEN.....	29
3.5.1	Feldemissions-Bildschirme	30
3.5.2	Fotokathoden-Bildschirme	30
3.5.3	OLED-Bildschirme	31
3.5.4	Elektrolumineszenz-Bildschirme	31
3.5.5	MIM-Bildschirme.....	31
3.5.6	PALC-Bildschirme.....	32
3.5.7	LEP-Bildschirme.....	32

3.6	KLEINFORMATIGE BILDSCHIRME	32
3.7	PROJEKTOREN.....	33
3.7.1	Bildübertragung.....	33
3.7.2	Technische Spezifikation	35
3.8	ERGONOMISCHE ASPEKTE.....	35
3.8.1	Bildschirme	35
3.8.2	Projizierte Bilder	36
3.9	ÜBERSTRAHLUNG.....	36
4	RASTERGRAFIK.....	37
4.1	ALIASING.....	37
4.2	RASTERKONVERTIERUNG VON VEKTORDATEN UND SCHRIFTEN.....	38
4.2.1	Rasterkonvertierung von Linien und Punkten.....	38
4.2.2	Rasterkonvertierung von Kreisen.....	40
4.2.3	Erzeugung breiter grafischer Triviale.....	42
4.2.4	Rasterkonvertierung von Schrift	43
4.2.5	Füllen von Polygonen.....	44
4.3	RASTERKONVERTIERUNG VON RASTERDATEN	45
4.4	BILDSTÖRUNG	46
4.4.1	Überblick.....	46
4.4.2	Bildstörung bei Strichgrafik.....	47
4.4.3	Bildstörung bei Punkten.....	48
4.4.4	Bildstörung bei Vergrößerung.....	49
4.4.5	Bildstörung bei Schrift	49
4.4.6	Bildstörung bei Rasterdaten	50
4.5	ALLGEMEINE BILDVERBESSERUNG DURCH ANTIALIASING	50
4.5.1	Bereichsmittelwerte.....	51
4.5.2	Erhöhung der Auflösung	51
4.5.3	Einschätzung und Beispiele	51
4.6	BILDSTÖRUNG DURCH ANTIALIASING.....	53
4.7	VERGRÖßERN UND VERKLEINERN DER GRAFIK.....	53
4.7.1	Techniken.....	53
4.7.2	Maßstabsänderung von Vektordaten.....	54
4.7.3	Maßstabsänderung von Rasterdaten.....	56
4.8	VERSCHIEBUNG DER GRAFIK	57
4.8.1	Verschiebung von Vektordaten.....	57
4.8.2	Verschiebung von Rasterdaten.....	57
5	KARTENGESTALTUNG FÜR DIE BILDSCHIRMVISUALISIERUNG.....	59
5.1	KARTOGRAFISCHE MINDESTGRÖSSEN	60
5.1.1	Bisherige Untersuchungen	60
5.1.2	Mindestgrößen im Bildpunktmaß.....	62
5.1.3	Richtungsabhängige Maße	64
5.1.4	Auswirkung der allgemeinen Bildverbesserung auf die Mindestmaße.....	65
5.1.5	Mindestmaße für größeren Betrachtungsabstand	68
5.2	GESTALTUNG.....	69
5.2.1	Farbe und Tonwert	69
5.2.2	Siedlungsdarstellung	71
5.2.3	Gewässerdarstellung.....	74
5.2.4	Darstellung der Bodenbedeckung	76
5.2.5	Darstellung von Verkehrswegen.....	78

5.2.6	Darstellung von Anlagen der Kommunikation und Versorgung.....	82
5.2.7	Darstellung von Einzelobjekten	82
5.2.8	Darstellung des Reliefs.....	84
5.2.9	Grenzen	86
5.2.10	Schrift.....	86
5.3	GESAMTHEIT DER KARTOGRAFISCHEN DARSTELLUNG.....	90
5.3.1	Großmaßstäbige Karte.....	92
5.3.2	Karte mittleren Maßstabs	93
5.3.3	Kleinmaßstäbige Karte	94
5.3.4	Kleinstmaßstäbige Karte	96
5.3.5	Stadtplan.....	96
5.3.6	Grafische Variation	97
5.4	GRAFISCHE DICHTEN.....	98
5.5	GESTALTUNG DES KARTENGRUNDES FÜR THEMATISCHE KARTEN	99
5.5.1	Zweifarbiger Kartengrund.....	99
5.5.2	Einfarbiger Kartengrund	99
5.6	DREHEN DER KARTOGRAFISCHEN DARSTELLUNG	100
5.7	BEARBEITUNG VON RASTERDATEN.....	100
5.7.1	Online-Karten.....	101
5.7.2	Digitalisierte Landeskartenwerke.....	101
5.7.3	Erzeugung von Rasterkarten aus konventionellen Vorlagen.....	101
5.8	LUFT- UND SATELLITENBILDKARTEN FÜR DIE BILDSCHIRMVISUALISIERUNG	102
5.8.1	Unterschiede zur Karte.....	102
5.8.2	Bildkarten.....	103
5.8.3	Luft- und Satellitenbilder und Bildkarten in der Bildschirmvisualisierung	103
6	KARTOGRAFISCHE INTERAKTION.....	105
6.1	BEGRIFFSBESTIMMUNG	105
6.2	INTERAKTIVE WAHL VON POSITION UND MASSSTAB	107
6.2.1	Maßstabsbereich bei statischen Karten	107
6.2.2	Intelligentes Zoom.....	107
6.2.3	Weitere Formen der Vergrößerung	108
6.2.4	Orientierungshilfsmittel	110
6.3	LEGENDENGESTALTUNG	111
6.3.1	Legendenfenster	112
6.3.2	Temporäre Legendeninformation.....	112
6.3.3	Parallele Nutzung beider Legendenformen.....	113
6.4	GEWINNUNG VON ZUSATZINFORMATION.....	114
6.5	NUTZERSPEZIFISCHE GESTALTUNG.....	115
6.6	PRODUKTBEISPIELE	116
6.6.1	Encarta-Weltatlas	117
6.6.2	The National Atlas of Canada	117
6.6.3	Interaktiver Atlas der Schweiz	118
6.6.4	Electronical Chart Display and Information System (ECDIS).....	119
6.7	KOMMUNIKATIONSSITUATION BEI KARTEN IN DER BILDSCHIRMVISUALISIERUNG	119
7	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	121
	LITERATURVERZEICHNIS	123

1 Einleitung und Problemstellung

Sammeln, Verarbeiten, Speichern, Visualisieren und Gebrauchen raumbezogener Informationen sind *konkrete* Aufgaben der Kartografie. Für Visualisierung und Gebrauch werden kartografische Darstellungen verwendet, deren Gestaltung nach bestimmten Regeln erfolgt. Die zentrale Aufgabe der Kartografie besteht darin, Karten und kartenverwandte Darstellungen zu schaffen, aus denen der Betrachter eine zutreffende Vorstellung der Wirklichkeit ableiten kann. HAKE/GRÜNREICH (1994) sehen darin die *ideelle* Aufgabe der Kartografie.

MÜLLER (1997) stellt fest, dass Theorie und Methoden einer Wissenschaft in unserer Zeit immer häufiger Impulse durch technologische Entwicklungen erhalten und durch diese erweitert werden. Die Geowissenschaften erhalten solche Impulse durch die elektronische und grafische Datenverarbeitung im Allgemeinen und durch die Entwicklung der Technologie geografischer Informationssysteme im Speziellen.

Für die Kartografie ergab sich der Nutzen aus der technischen Entwicklung der grafischen Datenverarbeitung. Dort werden Bildschirme seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts als Schnittstelle zur Visualisierung erfasster digitaler Daten eingesetzt. Das verfügbare Potenzial der grafischen Datenverarbeitung bot sich an, Teile des Kartenherstellungsprozesses von der manuellen, mechanischen und fotografischen Technik zur digitalen Technik hin zu verlagern (vgl. auch BRUNNER 1997). Die so entstandene *digitale Kartentechnik* konnte sich durchsetzen, da material- und zeitintensive Herstellungsprozesse entfielen und die Fortführung von Karten wesentlich vereinfacht wurde. Das Endprodukt war zunächst jedoch nach wie vor eine Karte, die auf konventionelle Zeichenträger gedruckt wurde (analoge Ausgabe).

Geoinformationssysteme (GIS) entwickeln sich zum festen Arbeitsgegenstand und Werkzeug der Geowissenschaften und anderer Bereiche. Die Visualisierung von Geodaten ist dabei eine wesentliche Komponente. Karten und kartenverwandte Darstellungen sind häufig Teil oder gar der Mittelpunkt von Anwendungen. Die Visualisierung von Daten in Geoinformationssystemen kann die Herstellung gedruckter Karten zum Ziel haben oder zur ausschließlichen Betrachtung und Bearbeitung am Bildschirm vorgesehen sein. Seit Visualisierung und Bearbeitung von Karten am Bildschirm erfolgen, müssen Monitore als Träger der kartografischen Darstellung verstanden werden. Für die Gesamtheit der Prozesse der Herstellung und Nutzung kartografischer Ausdrucksformen im Rahmen von GIS prägen HAKE/GRÜNREICH (1994) den Begriff *Digitalkartografie*.

Für die Kartografie sind es vor allem multimediale Präsentationsformen wie Animationen, Simulationen dreidimensionaler Welten und die Integration verbaler Information, durch welche die kartografische Darstellung ergänzt wird. Der Einfluss solcher Möglichkeiten der Datenpräsentation wirkt sich direkt auf Karten in der Bildschirmvisualisierung aus. Dies wird weitgehend erkannt, so dass zur Gestaltung von Animationen und ähnlicher Präsentationen zur Informationsgewinnung heute zahlreiche Publikationen vorliegen (z. B. PETERSON 1995, CARTWRIGHT u. a. 1999, BUZIEK u. a. 2000). ASCHE (1996) sieht im Zuge der zunehmenden Veröffentlichung und Nutzung von Karten mit Hilfe digitaler Technologien einen Wandel des Wesens der Karte vom statischen Speicher räumlicher Information zum interaktiven, grafikorientierten Instrument der Geodatenverarbeitung und -nutzung. Endprodukte werden auf digitalen Datenträgern gespeichert.

Der Kartengestaltung für Darstellungen am Bildschirm an sich fehlt die notwendige Beachtung bis heute weitgehend. Nur wenige Publikationen beschäftigen sich mit Anforderungen an eine am Bildschirm präsentierte Karte (z. B. BRUNNER 2000a). GRÜNREICH (1997) fordert, dass moderne Techniken mit bekannten, weiterentwickelten und neuen Methoden der kartografischen Gestaltung zu verknüpfen, systematisch zu erproben und positive Ergebnisse in die Gestaltungslehre zu übernehmen sind. Dies geschieht bisher nicht in ausreichendem Maße. Die Erfordernisse der *digitalen Karte*, die

ARTIMO (1994) als Kombination von Kartendaten mit Methoden zur Kartengestaltung definiert und die intuitiv oder durch eine Legende interpretierbar sein muss, werden nicht in genügendem Maße berücksichtigt. Deswegen ist es an der Zeit, dieser wichtigen Aufgabe verstärkt Aufmerksamkeit zu schenken. Das ist vor allem notwendig, da wegen der Entwicklung von Hard- und Software und neuen Möglichkeiten der Publizierung (z. B. über das Internet) die Herstellung und Verbreitung von Kartengrafiken nicht mehr nur durch Kartografen erfolgt. Visuelle Kommunikationsprobleme beim Kartenleser können die Folge unzureichender Kartengestaltung sein. Sie können durch richtige und ansprechende Kartengestaltung vermieden werden.

Die vorliegende Arbeit soll auf dem Gebiet der Kartengestaltung für die Bildschirmvisualisierung einen Beitrag leisten. Die Vorschläge zur Kartengestaltung beschränken sich auf den Karteninhalt topografischer Karten, die ausschließlich für die Bildschirmvisualisierung vorgesehen sind. Einige Gestaltungsvorschläge für die topografische Darstellung sind jedoch auch auf thematische Karten übertragbar. Im Mittelpunkt steht neben der Entwicklung kartografischer Gestaltungsmittel die Festlegung von Mindestgrößen. Als Ergebnis der Arbeit sind auf einem Datenträger Kartenproben enthalten, deren Grafiken den Gestaltungsvorschlägen entsprechen und die damit für die Visualisierung an Bildschirmen als geeignet gelten können (vgl. aber Fußnote 10, S. 59).

Dass Grafik am Bildschirm nicht in der gleichen Qualität wie auf Papier erzeugt werden kann, war wenig störend, solange eine gedruckte Ausgabe auf Papier das Endprodukt war. Wenn jedoch die Visualisierung am Bildschirm im Vordergrund einer Anwendung steht, wird deutlich, dass der

- Bildträger *Bildschirm* im Vergleich zum
- Zeichenträger *Papier* und anderen konventionellen Zeichenträgern

bezüglich der Bildentstehung völlig andere Eigenschaften aufweist. Das betrifft z. B. die Erzeugung von Farbe und die Technik, nach der Grafik am Bildschirm zur Darstellung kommt. Die Größe der Anzeigefläche von Arbeitsplatzmonitoren ist beschränkt und liegt derzeit bei Bilddiagonalen bis zu 61 cm (24“). Im Vergleich zu konventionellen Darstellungen ergeben sich somit wesentlich kleinere Darstellungsflächen. Das Verhältnis von Breite zu Höhe des Bildes beträgt meist 4:3 oder 5:4, bei jüngeren Produkten auch 1:1 oder 16:9. Die Auflösung des Bildschirms ist von der Anzahl der Bildpunkte (Pixel) abhängig. Bei einer Auflösung von 1 600 x 1 200 Bildpunkten und einer 21“-Bilddiagonale beträgt die Ausdehnung eines Bildpunktes 0,24 x 0,24 mm². Tabelle 1.1 gibt Bildpunktgrößen wieder, die sich für verschiedene Auflösungen und Monitorgrößen ergeben.

Tabelle 1.1: Bildpunktgrößen und Auflösungen von Bildschirmen verschiedener Größen (vgl. auch BRUNNER 2001)

Länge der Bilddiagonale	Bildformat Breite (cm) x Höhe (cm)	Physikalische Auflösung (Bildpunkt x Bildpunkt)											
		800 x 600			1.024 x 768			1.280 x 1.024			1.600 x 1.200		
		mm x mm	p/cm	dpi	mm x mm	p/cm	dpi	mm x mm	p/cm	dpi	mm x mm	p/cm	dpi
33,8 cm (15“)	27,0 x 20,2	0,34	29	73	0,27	37	94	0,21	48	121	---	---	---
38,8 cm (17“)	31,0 x 23,5	0,39	26	65	0,30	33	85	0,24	42	106	0,19	53	134
43,8 cm (19“)	35,0 x 26,5	0,44	23	58	0,34	29	75	0,27	37	94	0,22	45	115
48,1 cm (21“)	38,5 x 29,0	---	---	---	0,38	26	67	0,30	33	85	0,24	42	106

Aus den Werten in Tabelle 1.1 ergibt sich die für die kartografische Gestaltung verfügbare Auflösung der Bildschirmgrafik. Sie liegt zwischen 23 und 53 Bildpunkten pro Zentimeter (p/cm) bzw. zwischen 58 dpi und 134 dpi und ist damit wesentlich geringer als die gedruckter Karten. Die Auflösung der

Druckvorlagen erreicht dort zum Teil mehr als 1000 p/cm (2500 dpi, vgl. TESCHNER 1991). Eine geringere Auflösung ist jedoch ausreichend, da das menschliche Auge bei normalem Leseabstand nur bis 315 p / cm (800 dpi, vgl. TURTSCHI 2000) wahrnehmen kann. Ein weiterer Unterschied zu konventioneller Grafik ergibt sich aus dem größeren Betrachtungsabstand an Bildschirmen. Er sollte aus ergonomischen Gründen bei 50 cm bis 60 cm liegen und ist damit etwa doppelt so groß wie der Leseabstand für gedruckte Erzeugnisse.

Die Existenz neuer Präsentationsformen kartografischer Darstellungen führte zu Versuchen der Neudefinition des Begriffs *Karte*. HAKE (1988) bezeichnet sie als „maßgebundenes strukturiertes Modell räumlicher Bezüge. Sie ist im weiteren Sinne ein digitales, grafikbezogenes Modell, im engeren Sinne ein grafisches (analoges) Modell.“

Die *International Cartographic Association (ICA)* unternimmt folgende Neudefinition:

„A map is a symbolised image of geographical reality, representing features or characteristics, resulting from the creative effort of its author's execution of choices, and is designed for use when spatial relationships are of primary relevance“ (ICA 1996).

In diesen weit gefassten Definitionen wird die Festlegung auf eine Art der Präsentationsform vermieden. Der räumliche Bezug, der Modellcharakter und die kreativen Anstrengungen des Kartenautors werden in den Vordergrund gestellt.

Der Aufsatz *Map design for screen display* von BROWN (1993) ist der erste Beitrag, in dem die Eigenschaften der Kartengrafik am Bildschirm und unmittelbare Konsequenzen für die Visualisierung von Karten gezeigt werden. Umfassende Vorschläge für die Kartengestaltung werden aus den Erkenntnissen in diesem Aufsatz jedoch nicht abgeleitet. Erste wissenschaftliche Arbeiten, in denen Voraussetzungen für die Kartengestaltung geschaffen werden, sind z. B. jene von DITZ (1997), MÜLLER/DIETRICH (1997), MALIC (1998), BRUNNER (2000a und b, 2001) und NEUDECK/BRUNNER 2001. In diesen Beiträgen wird die Problematik der Bildschirmvisualisierung erörtert. Außerdem werden Vorschläge für Mindestgrößen grafischer Triviale und für die Schrift erarbeitet. MALIC (1998) untersucht solche Maße intensiv für verschiedene Bildschirmtypen. LUTTERBACH (1997) beschäftigt sich mit der Auswirkung der Bildschirmvisualisierung auf Planungskarten.

Auch für andere Anwendungen des Umgangs mit Grafik gewinnt der Bildschirm zunehmend Bedeutung. Im typografischen Bereich wird seit einigen Jahren die Wahrnehmung von Schrift am Bildschirm intensiv untersucht (vgl. GÖTZ 1998, TURTSCHI 2000). Verfahren zur Verbesserung der Lesbarkeit von Text am Bildschirm werden aufgezeigt. Die Problematik der Gestaltung kartografischer Darstellungen wird in den genannten Aufsätzen nicht gelöst bzw. im Einzelnen angesprochen. Als Voraussetzungen für die Erarbeitung von Gestaltungsvorschlägen können

- die Gestaltung von Karten auf konventionellen Zeichenträgern mit der dort gelösten Darstellungsproblematik (Gestaltungsmittel, grafische Variation der Zeichen, Mindestgrößen und –abstände),
- die Versuche der Übertragung der konventionellen Kartengrafik auf den Bildschirm, die zur Beschäftigung mit der Darstellungsproblematik am Bildschirm führten und
- die bekannten, technischen Eigenschaften des Bildträgers *Bildschirm*

dienen.

Die Kenntnis der Eigenschaften der Bildentstehung teilweise, die der Algorithmen, nach denen die Grafik am Bildschirm erzeugt wird, und daraus resultierende Konsequenzen sind wichtige Voraussetzungen, um Gestaltungsvorschläge für die Kartengrafik erarbeiten zu können. Die intensive Beschäftigung mit diesen Eigenschaften fehlt in kartografischen Arbeiten bis heute. Im Kapitel 3 werden deshalb heute dominierende und neue Bildschirmtechniken vorgestellt.

Im Kapitel 4 werden Rastergrafikalgorithmen behandelt, nach denen Grafik am Bildschirm erzeugt wird. Die geringe Auflösung der Monitore bedingt Grafikdeformationen, die an Hand von Beispielen aufgezeigt werden. Maßnahmen der Bildverbesserung schränken diese Störungen ein, führen aber in einigen Fällen zu neuen Restriktionen.

Die Kartengestaltung muss berücksichtigen, dass das Erscheinungsbild von Grafik durch Deformationen entscheidend beeinflusst wird. Eine dies beachtende Gestaltung muss die Folgen der Bildstörung überwinden. In Kapitel 5 werden Gestaltungsvorschläge für den Inhalt topografischer Karten für die Bildschirmvisualisierung erarbeitet. Dabei widmen sich die Betrachtungen zunächst der Festlegung von Mindestmaßen, die zur Ermöglichung der Lesbarkeit notwendig sind. Die Kartengestaltung erfolgt mit punkthaften, linearen und flächenhaften Kartenzeichen in Anlehnung an konventionelle Karten.

Die grobe Bildschirmauflösung verlangt nach einer Reduzierung des Inhalts der kartografischen Darstellung. Folglich können am Bildschirm nicht alle Gegenstände dargestellt werden, die das konventionelle Kartenbild enthält. Für nicht darstellbare Information liegt teilweiser Ausgleich im Potenzial interaktiver Funktionalität. Einige solcher Funktionen werden abschließend im Kapitel 6 beschrieben. Bei dieser Behandlung erfolgt eine Beschränkung auf Möglichkeiten, mit denen der Informationsgehalt der Karte an sich erhöht werden kann.

In Kapitel 2 werden zunächst einige Grundlagen für die Erarbeitung von Gestaltungsvorschlägen zusammengestellt. Merkmale kartografischer Darstellungen, Zeichensprache und daraus abgeleitete Gestaltungsregeln konventioneller Karten werden erörtert. Die herzuleitenden Gestaltungsvorschläge für die Entwicklung einer geeigneten Karte für die Bildschirmvisualisierung müssen die Regeln der Zeichentheorie konventioneller Gestaltungsmittel berücksichtigen, damit das vertraute Kartenbild erhalten wird.

2 Grundlagen

2.1 Charakteristik kartografischer Darstellungen

2.1.1 Raumbezug

Karten bilden einen begrenzten Teil der Erdoberfläche ab. Der Raumbezug ist ihr typisches Merkmal. Der Bezug vom Karten- zum Naturmaß wird durch ein Verkleinerungsverhältnis, den Maßstab, hergestellt. Der Maßstab wird in $1:m$ angegeben, wobei m die Maßstabszahl ist und die Anzahl von Längeneinheiten in der Natur auf eine Längeneinheit in der Karte angibt.

Der Lagebezug wird durch die Angabe geografischer oder geodätischer Koordinaten auf eine Bezugsfläche hergestellt. Als Basis dienen Koordinatenachsen, auf welche Ursprung, Richtung und Maßeinheit der Koordinaten bezogen sind. Geografische Koordinaten werden in Grad ($^{\circ}$) für Länge und Breite in thematischen Karten angegeben und beziehen sich auf die Kugel als Bezugsfläche. Rechtwinklige geodätische Koordinaten, wie Gauß-Krüger- oder UTM-Koordinaten, werden neben geografischen Koordinaten im metrischen Maß auf topografischen Karten angegeben. Ihre Bezugsfläche ist ein Rotationsellipsoid, welches durch eine, meist transversale, zylindrische Abbildung (Projektion) verebnet wird. Höhenangaben in Karten basieren gewöhnlich auf dem mittleren Wasserstand eines Meeres und werden in Metern angegeben. In Deutschland beziehen sie sich auf eine als Normal Null (NN) bezeichnete Niveaufläche.

Die räumliche Beziehung konventioneller Kartenblätter einer Kartenserie topografischer Karten zueinander kann durch eine systematische Blattnummerierung erfolgen. Der Blattschnitt kann sich am Gradnetz orientieren (Gradabteilungskarten), wobei alle Karten einer Serie über die gleiche Gradabteilung in geografischer Länge und Breite verfügen. Für die Bildschirmvisualisierung von Karten ist eine solche Einteilung entbehrlich, aber auch nicht möglich.

2.1.2 Sachlicher Bezug – topografische und thematische Karten

Die Wiedergabe von Objekten und Erscheinungen mit qualitativen und quantitativen Informationen (Kartengegenstand) ist der sachliche Bezug kartografischer Darstellungen. Die qualitative Information gibt über Art und Position des Objekts Auskunft. Die quantitative Information liegt in der Darstellung von Größe und Menge von Objekten. Die Gestaltung der Kartengrafik muss in einer Form sein, die es dem Kartenleser erlaubt, ihren Inhalt unter Zuhilfenahme der Zeichenerklärung entschlüsseln zu können.

Im Allgemeinen lassen sich Kartengegenstände topografischer und thematischer Karten unterscheiden. Eine topografische Karte ist eine „Karte, in der Situation, Gewässer, Geländeformen, Bodenbewachung und eine Reihe sonstiger zur allgemeinen Orientierung notwendiger oder ausgezeichneter Erscheinungen den Hauptgegenstand bilden und durch Kartenbeschriftung eingehend erläutert sind“ (INTERNATIONALE KARTOGRAPHISCHE VEREINIGUNG 1973). Die Bezeichnung *Topografische Karte* tragen jedoch nur Karten im Maßstabbereich von 1:10 000 bis 1:250 000 bzw. 1:500 000. Karten in kleineren Maßstäben werden als chorografische oder als physische Karten bezeichnet.

Eine thematische Karte ist eine „Karte, in der Erscheinungen und Sachverhalte zur Erkenntnis ihrer selbst dargestellt sind. Der Kartengrund dient zur allgemeinen Orientierung und/oder zur Einbettung des Themas“ (INTERNATIONALE KARTOGRAPHISCHE VEREINIGUNG 1973). In diesem Sinn sind thematische Karten alle Karten, die neben der topografischen Grundlage mindestens einen weiteren Sachverhalt darstellen.

2.1.3 Zeitlicher Bezug

Der zeitliche oder temporale Bezug sagt aus, dass sich kartografische Darstellungen immer auf Zustände zu einem bestimmten Zeitpunkt oder über eine bestimmte Zeitspanne beziehen. Ersteres ist stets bei topografischen Karten der Fall. Aussagen über Zeitspannen sind in thematischen Karten zu finden. Die konventionelle Kartografie muss sich zur Wiedergabe von Sachverhalten, die eine Dynamik enthalten, bestimmter Hilfsmittel bedienen. STAMS (1983) spricht von der Mehrphasendarstellung in thematischen Karten, wenn eine Karte Informationen zu Zuständen in zwei oder mehreren Zeitpunkten enthält. Er nennt eine Karte mit mehreren thematischen Kartengegenständen mehrschichtige Darstellung. Ergebnisse von Untersuchungen zur Darstellung dynamischer Prozesse und Phänomene in konventionellen Karten liegen des Weiteren in der sogenannten kinematografischen Methode und in der Deckblattmethode (Mehrschichtenkarte, BÄR 1976) vor. Die Bildschirmvisualisierung ermöglicht dagegen Darstellungsmittel, mit denen dynamische Phänomene besser wiedergegeben werden können (z. B. durch Animationen).

2.1.4 Maßstabbereiche

Kartografische Darstellungen können in groß-, mittel-, klein- und kleinstmaßstäbig eingeteilt werden. Großmaßstäbige Karten sind Karten im Maßstab 1:10 000 und größer. Der mittlere Maßstabbereich umfasst Darstellungen von 1:25 000 bis 1:200 000 bzw. 250 000. Kleinmaßstäbige topografische Karten sind dem Maßstabbereich 1:250 000 bzw. 1:500 000 bis 1:10 Mill. oder 1:15 Mill. zuzuordnen, kleinstmaßstäbige Karten dem kleiner als 1:10 Mill. bzw. 1:15 Mill. Merkmal für diese Einteilung ist die geometrische Genauigkeit (Grundrisstreue, -ähnlichkeit, Lagetreue). Tabelle 2.1 stellt Darstellungsmittel beispielhafter Karteninhalte für die Zuordnung zu den Maßstabbereichen zusammen.

Tabelle 2.1: Merkmale und dominante Darstellungsmittel groß-, mittel-, klein- und kleinstmaßstäbiger Karten

	Großmaßstäbige Karte	Mittelmaßstäbige Karte	Kleinmaßstäbige Karte	Kleinstmaßstäbige Karte
Allgemein				
Maßstabsbereich	1:10 000 und größer	1:25 000 - 1:200 000 bzw. 1:250 000*	1:250 000* bzw. 1:500 000 bis 1:10 Mill./1:15 Mill.	kleiner als 1:10 Mill./1:15 Mill.
Lagemerkmale	Grundrisstreue	Grundrissähnlichkeit	Lagetreue	Lagetreue
Karteninhalte				
Siedlungen	Gebäude	Gebäudezeichen	Signatur, Flächenkontur (Gesamtumriss)	Signatur
Verkehrswege	Signatur / Linie	Signatur / Linie	Linie / Signatur	keine / Linie
Relief	Höhenlinien, kotierte Punkte	Höhenlinien, kotierte Punkte, Schummerung	Höhenschichten, Schummerung	Höhenschichten, Schummerung
* Zugehörigkeit des Maßstabes 1:250 000 von den Gestaltungsmitteln der Karte abhängig				

Topografische Karten der genannten Maßstabbereiche lassen einen bestimmten inhaltlichen Abstraktionsgrad erwarten. Dieser Abstraktionsgrad ist fest an den Maßstab der Karte gebunden. So entspricht das Ergebnis der Vergrößerung einer Karte des Maßstab 1:50 000 in den doppelten Maßstab im eigentlichen Sinn keiner Karte im Maßstab 1:25 000.

2.2 Kartografisches Zeichensystem

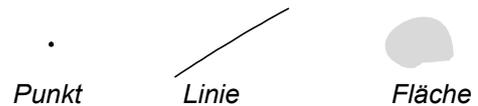
2.2.1 Grafische Triviale, zusammengesetzte Zeichen und grafische Gefüge

Zweidimensionale räumliche Sachverhalte können am besten mit Karten und kartenverwandten Darstellungen visualisiert werden. Die grafischen Triviale der Kartengrafik sind

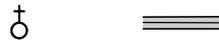
- Punkt,
- Linie und
- Fläche.

Die kartografische Darstellung besteht aus diesen Trivialen, deren Zusammensetzungen und der Schrift. Zusammengesetzte Zeichen sind Signaturen, die sich aus grafischen Trivialen zusammensetzen. Der zweckmäßige Einsatz der Gestaltungsmittel lässt das grafische Gefüge erkennen. Es entspricht typischen Strukturen für bestimmte Erscheinungen. So lassen sich Gewässernetz und Höhenlinienbild am Linienverlauf erkennen, ohne dass zusätzliche Informationen notwendig sind (Abbildung 2.1, HAKE/GRÜNREICH 1994).

Grafische Triviale



Zusammengesetzte Zeichen



Grafische Gefüge



Abbildung 2.1: Grafische Triviale, zusammengesetzte Zeichen und grafische Gefüge

2.2.2 Schrift

Die Kartenschrift ist neben der Zeichenerklärung das erläuternde Element der Karte. Sie muss gut lesbar und den Kartenzeichen eindeutig zuzuordnen sein. In konventionellen Karten werden Serifenschriften (Antiqua) und serifenlose Schriften (Block- bzw. Balkenschriften, Grotesk) gleichermaßen verwendet. In topografischen Karten sind stehende (normale) und rechts liegende (kursive) Schriften gebräuchlich.

2.2.3 Grafische Variable

Die grafische Variation von Zeichen erfolgt in bestimmter und typischer Weise, um Anschaulichkeit und Aussagekraft von Grafik zu verstärken. BERTIN (1967) unterscheidet sechs grafische Variable für Zeichen (Abbildung 2.2):

- Größe (Höhe, Flächeninhalt),
- Form,
- Muster (Art und Feinheit der Musterbestandteile),
- Richtung,
- Tonwert (Skala der unbunten Farben) und
- Farbe (Skala der bunten Farben).

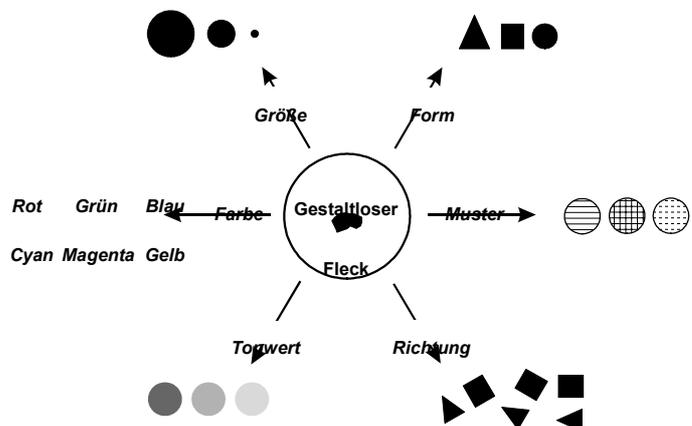


Abbildung 2.2: Grafische Variable nach BERTIN (1967)

Die Variation der *Größe* wird durch die Änderung des Flächeninhalts eines Zeichens erreicht. Sie ist in ihrem Umfang prinzipiell grenzenlos. In der Kartografie wird die Größenvariation von Kartenzeichen häufig zur Darstellung von Mengenverhältnissen genutzt. Dafür werden meist nur 4 bis 5 Größenstufen angewandt.

Die Variation der *Form* sind alle Gestalten, die ein gestaltloser Fleck (Bezeichnung nach BERTIN 1967) bei gleichem Flächeninhalt annehmen kann. Wie die Größenvariation ist sie in ihrer Anzahl prinzipiell unbegrenzt.

Die Variation des *Musters* wird durch Änderung der Anzahl unterscheidbarer Grafikbestandteile innerhalb einer vorgegebenen Fläche bei konstantem Tonwert erreicht.

Die Variation der *Richtung* ist die Winkeländerung der Lage von Zeichen. Wegen der eingeschränkten Erkennbarkeit unterschiedlicher Richtungen, vor allem kleiner grafischer Zeichen, sollten nur vier verschiedene Richtungen eingesetzt werden. Den Richtungen 0, 30, 45 und 60 Grad ist der Vorzug zu geben.

Die Variation des *Helligkeits-* oder *Tonwertes* erfolgt durch Unterschiede zwischen Schwarz- und Weißanteil auf einer vorgegebenen Fläche. Die Kartografie nutzt sie bei der Konstruktion von Farbreihen (Farbskalen, BERTIN 1967).

Die Variation der *Farbe* ist die hervorgehobene Art der Zeichenvariation. Eine Farbänderung entspricht der visuell wahrnehmbaren Differenzierung, die durch unterschiedliche Farbreize, die zwischen zwei Flächen von gleichem Tonwert erkennbar sind, hervorgerufen wird. Verschiedene Farben sind das belebende Element der Kartengrafik und erleichtern die Aufnahme des Karteninhalts. Andere grafische Variable lassen sich mit der Farbe gut kombinieren. Durch ihren zweckmäßigen Einsatz ist die qualitative Differenzierung ohne Gefährdung der Übersichtlichkeit einer Grafik möglich.

Farbe ist die Wellenlänge des Lichts, das von einem Objekt ausgesendet bzw. von der Oberfläche eines Objekts reflektiert oder absorbiert wird. Das Spektrum des sichtbaren Lichts liegt im Bereich der Wellenlänge von etwa 380 nm bis 780 nm. Die Zusammensetzung der Lichtwellen wird häufig durch das Rot-Grün-Blau-Farbmodell (RGB-Modell) dargestellt. Der Wellenlängenbereich von 450 nm bis 480 nm wird als blau, von 500 nm bis 550 nm als grün, von 570 nm bis 580 nm als gelb und um 630 nm als rot empfunden (FELLNER 1992). Weißes Licht wird ausgesendet, wenn sich das gesamte Spektrum überlagert. Das additive RGB-Farbmodell wird vorwiegend in Grafikprogrammen genutzt.

Das subtraktive Cyan-Magenta-Gelb-(Yellow)-Farbmodell (CMY) ist ebenfalls ein technisches Farbmodell, das alternativ zum RGB-Modell einsetzbar ist und für Druckverfahren Bedeutung hat. Bei ihm wird bei Überlagerung der drei Grundfarben Schwarz erzeugt (vgl. auch Abschnitt 2.5.2, Abbildung 2.3).

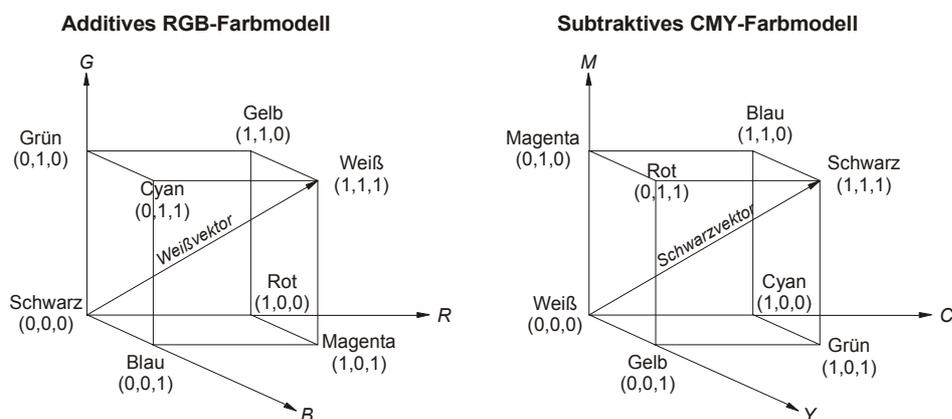


Abbildung 2.3: RGB- und CMY-Farbmodell

Für die Farbwahl weniger bedeutend sind intuitive Farbmodelle. Bei ihnen werden Farben nicht durch Anteile von Grundfarben beschrieben, sondern durch Parameter wie Farbton (*hue*) und Sättigung (*saturation*). Intuitive Farbmodelle sind z. B. das HSV-Modell, bei dem neben dem Farbton (*hue*) und der Sättigung (*saturation*) als dritter Parameter die Helligkeit (*value*) genutzt wird, und das HLS-Modell, bei dem die verwendeten Parameter die Farbe (*hue*), die Leuchtkraft (*lightness*) und die Sättigung (*saturation*) sind. In Grafikprogrammen werden sie zur Farbmischung alternativ zu technischen Modellen angeboten.

Die grafischen Variationen eines gestaltlosen Flecks führen zu Darstellungsformen, die sich unterschiedlich auf die *assoziative*, die *selektive*, die *geordnete* und die *quantitative Wahrnehmung* der kartografischen Gestaltungsmittel (vgl. Kapitel 2.3) auswirken. Unter der assoziativen Wahrnehmung ist die Erkennung von Erscheinungen und Sachverhalten sowie deren Verteilungen zu verstehen. Sie wird durch verschiedene Formen und Farben grafischer Zeichen und durch verschiedene Richtungen von Zeichen gefördert. Die Variation von Mustern ist bei guter grafischer Gestaltung der Musterbestandteile ebenfalls assoziativ wahrnehmbar. Die selektive Wahrnehmung erleichtert das Erkennen der Verteilung einer bestimmten Erscheinung. Sie wird in erster Linie durch die grafische Variation der Farbe unterstützt. Die geordnete Wahrnehmung ermöglicht den Vergleich zwischen verschiedenen Stufen einer Erscheinung. Die Kartografie nutzt für diese Form der Visualisierung vor allem Farbskalen, die mit der Variation des Tonwertes einer Farbe gestaltet werden. Die quantitative Wahrnehmung erfasst zum einen den in Zahlen gefassten Ausdruck der Relation zwischen zwei Zeichen und zum anderen die Gruppenbildung von Zeichen geringer quantitativer Unterschiede. BROWN/ELZAKKER (1993) bezeichnen die assoziative, selektive, geordnete und quantitative Wahrnehmung als *perzeptive*, das heißt sinnlich wahrnehmbare, Eigenschaften. Tabelle 2.2 fasst die Eignung der grafischen Variablen zur Unterstützung dieser Wahrnehmungsformen zusammen.

Tabelle 2.2: Perzeptive Eigenschaften der grafischen Variablen
(aus: BOS 1984, zitiert in BROWN/ELZAKKER 1993)

Grafische Variable Perzeptive Eigenschaft	Größe	Form	Muster	Richtung	Tonwert	Farbe
-assoziativ	○	●●	●	●●	○	●●
-selektiv	●●	○	●●	●	●●	●●●
-geordnet	●●	○	●	○	●●●	○
-quantitativ	●●	○	○	○	○	○

●●● = sehr gut; ●● = gut; ● = befriedigend; ○ = schlecht

Weitere grafische Variable wurden erkannt, seitdem Karten mit dem Potenzial der grafischen Datenverarbeitung hergestellt werden. Diese Entwicklung wurde durch die Ergänzung der kartografischen Darstellung durch dynamische Darstellungsformen und Animationen unterstützt. Einen umfassenden Überblick über neue gestaltende grafische Variable gibt KOCH (2000). Im Folgenden werden die Betrachtungen auf Variable, welche die statische Karte beeinflussen, beschränkt.

MACEACHREN (1992) sieht im Zusammenhang mit der Visualisierung von Unschärfe (vgl. auch Abschnitt 5.2.4) eine Variable *focus*, die später als Klarheit (*clarity*) bezeichnet wird und sich aus Schärfe, Auflösung und Transparenz zusammensetzt. Die Bezeichnung *Auflösung* für diese Eigenschaft ist jedoch ungenau. Mit Schärfe und Transparenz lässt sich die Unschärfedarstellung dagegen gut charakterisieren.

Nach MACEACHREN (1995) ist die Sättigung (*saturation*) eine weitere gestaltende grafische Variable. Das ist mit der Beeinflussung der Sättigung in intuitiven Farbmodellen (z. B. IHS- und HSV-Modell) zu begründen. Für den Kartenleser erscheint die Änderung des Sättigungswertes jedoch als eine solche des Tonwertes (KOCH 2000).

2.3 Kartografische Gestaltungsmittel

In Tabelle 2.3 werden kartografische Darstellungsmittel mit Schwerpunkt auf topografische Karten zusammengefasst. Unterschieden werden punkthafte, lineare und flächenhafte Gestaltungsmittel und die Schrift. Flächenkartogramm und Kartodiagramm für Flächen, Bewegungslinien für Linien und Diagrammsignatur und Punktmethod für Punkte sind weitere Darstellungsmittel. Sie werden hauptsächlich in thematischen Karten angewandt (vgl. z. B. STAMS 1983).

Tabelle 2.3: Gestaltungsmittel für topografische Karten

Gestaltungsmittel	Beschreibung	Beispiele
<i>Punkthafte Gestaltungsmittel</i>		
Punkt	punkthafte Erscheinung	kotierter Punkt
Positionssignatur - Bildhaftes Zeichen	Grundriss- oder aufrisstreue Darstellungen punkthafter Einzelobjekte	Kirche, Einzelbaum, Turm
- Buchstabenzeichen	Darstellung punkthafter Objekte durch charakteristische Zeichen	topografisches Einzelzeichen (überwiegend als Zusatzinformation)
- Geometrische Signatur	Darstellung punkthafter Objekte durch geometrische Zeichen	Ortssignatur, trigonometrischer Punkt
<i>Lineare Gestaltungsmittel</i>		
Linie	linienhaftes Objekt	Weg, Wasserlauf
Isolinie	Verbindung benachbarter Punkte gleicher Qualität	Höhenlinie
Lineare Signatur	Wiedergabe linearer Strukturen	Grenze, Verkehrsweg
<i>Flächenhafte Gestaltungsmittel</i>		
Fläche	Objektfläche	Wald, Gewässerfläche
Flächensignatur (Areal)	Kennzeichnung der Verbreitung von Sachverhalten und Erscheinungen	Gebäudezeichen, Bodenbedeckung
Flächenton für Kontinua	Farbige Kennzeichnung eines Bereichs eines Kontinuums, der durch Isolinien abgegrenzt ist	Höhenschichten
Halbton	Flächen mit wechselndem Tonwert	Schummerung
<i>Schrift</i>	Erläuterung des Karteninhalts	Siedlungs-, Gewässername

2.4 Perzeptive Schwellen

Perzeptive Schwellen sind Größen, in denen Grafik gerade noch sinnlich wahrnehmbar und interpretierbar ist. Dies ist gewährt, wenn Zeichen und Detail über eine bestimmte Mindestzeichengröße und einen bestimmten kleinsten Abstand voneinander verfügen (Abschnitt 2.4.2). Das Auflösungsvermögen wird dagegen von der Funktion des menschlichen Gehirns bestimmt (physiologische Limitierung, Abschnitt 2.4.1). Grafik, deren Größe dem Auflösungsvermögen entspricht, ist vom menschlichen Auge zwar wahrnehmbar, jedoch vom Gehirn nicht mehr interpretierbar.

Auflösungsvermögen und Mindestzeichengröße nehmen Werte an, die von individuellen physiologischen Eigenschaften abhängig sind. Die Größen sind nicht allgemein gültig zu ermitteln (SCHÖBER

1964) und sollten sich auf maximalen Kontrast und Positivdarstellung beziehen. Kartografische Mindestgrößen (Abschnitte 2.4.3 und 2.4.4) sind darüber hinaus vom Druckverfahren und vom Zeichnungs- bzw. Bildträger abhängig (technische Limitierung).

2.4.1 Auflösungsvermögen des Auges

Unter dem Auflösungsvermögen des menschlichen Auges ist der Abstand zweier benachbarter Punkte zu verstehen, die gerade noch visuell getrennt wahrgenommen werden. Dieses Maß ist vom Betrachtungsabstand, von der Wellenlänge des Lichts und vom Sehvermögen abhängig. Der *kritische Sehwinkel*, unter dem das Auge zwei Gegenstände unabhängig von ihrer Form noch unterscheiden kann, ist dagegen vom Betrachtungsabstand unabhängig, wird aber von Kontrast und Helligkeit beeinflusst. Er berechnet sich aus dem nach dem englischen Physiker J. W. RAYLEIGH benannten *Rayleighschen Kriterium der Auflösung*, das für die Angabe des Auflösungsvermögens optischer Geräte genutzt wird (vgl. TIPLER 1994):

$$\alpha_k = \lambda / d \quad (2.4.1)$$

Dabei sind λ die Wellenlänge des Lichts und d der Durchmesser der Linse, beim Auge der Durchmesser der Pupille. Wenn für λ 600 nm und für d 5 mm angegeben werden, ergibt sich:

$$\alpha_k = 0,000146 \text{ rad} \approx 0,5'$$

Der Wert 0,5' (Bogenminute) ist der kritische Sehwinkel (SCHOBER 1964). Er hängt vor allem vom Pupillendurchmesser ab, der durchschnittlich mit 5 mm angegeben werden kann, bei Dunkelheit aber bis über 9 mm reicht. Bei geringerer Pupillenweite vergrößert sich der kritische Sehwinkel (0,8' bei $\lambda = 600 \text{ nm}$, $d = 3 \text{ mm}$).

Das von Betrachtungsabstand, Kontrast und Helligkeit abhängige metrische Maß des Auflösungsvermögens des Auges als Grenzabstand für trennbare Objekte ergibt sich nach der Beziehung:

$$\alpha_k \approx a / y; \quad a \approx \alpha_k y \quad (2.4.2)$$

Dabei entspricht a dem Auflösungsvermögen in Millimetern und y dem Betrachtungsabstand.

Für die Entfernungen 30 cm, 60 cm, 6 m und 100 m ergeben sich unter der Pupillenweite $d = 5 \text{ mm}$ für das Auge Auflösungsvermögen von etwa 0,05 mm, 0,1 mm, 0,9 mm und 15 mm. Bei $d = 3 \text{ mm}$ vergrößern sich die Werte für diese Entfernungen auf 0,07 mm, 0,14 mm, 1,4 mm und 23 mm. Die Varianz der Werte wird durch die Unterschiede von d (Pupillendurchmesser) verursacht. Deshalb ist ein allgemein gültiger Wert nicht bestimmbar.

2.4.2 Mindestzeichengröße in Abhängigkeit vom Betrachtungsabstand

Die Lesbarkeit von Grafik setzt eine perzeptive Mindestgröße voraus. Im Gegensatz zu den angegebenen Werten, die dem Auflösungsvermögen des Auges entsprechen, muss für die Wahrnehmung von Gegenständen, Zeichen und Details eine sinnlich wahrnehmbare, das heißt über dem Auflösungsvermögen liegende, Größe definiert werden.

Diese Mindestgröße begrenzt den Spielraum für die grafische Differenzierung in einer Grafik. Nach BACH/KOMMERELL (1998) entspricht die Sehschärfe, die nicht dem kritischen Sehwinkel gleichgesetzt werden darf, eines Normalsichtigen dem Sehwinkel von einer Bogenminute. Das bedeutet, dass Gegenstände, Grafik, Grafikdetails, deren Ausdehnung diesem Sehwinkel entsprechen, gerade noch erkannt werden. SCHOBER (1964) gibt den gleichen Wert an, verweist aber auf zahlreiche Abhängigkeiten, wie den Kontrast und die Eigenschaften des Auges. Die Mindestzeichengröße ist vom Betrachtungsabstand abhängig. Es gilt eine ähnliche Beziehung wie in (2.4.2):

$$a \approx \alpha y \quad (2.4.3)$$

Mindestzeichen- bzw. Detailgrößen nehmen danach etwas größere Werte als oben an, nämlich für die Entfernungen 30 cm, 60 cm, 6 m und 100 m etwa 0,1 mm, 0,2 mm, 1,8 mm und 29 mm.

2.4.3 Kartografische Mindestgrößen und –abstände für normalen Leseabstand

Die Einhaltung kartografischer Mindestmaße für Punkte, Linien, Flächen und Schrift ermöglicht die Lesbarkeit der Karte. Als Mindestmaße werden notwendige Größen von und kleinste Abstände zwischen Kartenzeichen bezeichnet. Unter normalem Leseabstand ist der Abstand von 20 cm bis 30 cm zwischen dem Auge und dem zu lesenden Text oder der betrachteten Grafik für gedruckte Erzeugnisse bei genügender Beleuchtung zu verstehen. Die Angaben zur perzeptiven Schwelle können zur Beschreibung kartografischer Mindestmaße beitragen, beziehen sich jedoch auf das allein stehende Zeichen. Die kartografischen Mindestmaße berücksichtigen neben der notwendigen Zeichengröße auch die Kartenbelastung, die Komplexität der Darstellung und die Auszählbarkeit von Kartenzeichen (z. B. von Höhenlinien).

Der Durchmesser eines Punktes, das heißt der kleinsten darstellbaren Kreisscheibe, muss bei 0,2 Millimetern liegen, wenn er schwarz oder in einer anderen Farbe hohen Farbgewichts dargestellt wird und wenn er Bestandteil anderer Grafik, z. B. von Liniensignaturen ist. Der Mindestdurchmesser der Kreisscheibe beträgt 0,3 mm, wenn sie allein stehend im Kartenbild erscheint. Die Mindeststärke für schwarze und farbige Linien außer gelb beträgt 0,1 mm. Für Grundrissdarstellungen gilt 0,3 mm als kleinstes Maß für die Wiedergabe von Details.

Tabelle 2.4 gibt zusammenfassend über notwendige Größen und Abstände isoliert stehender grafischer Formen bei normalem Leseabstand Auskunft. Die Maße gelten für die Betrachtung gedruckter Karten. Beim Vergleich der Werte für Kreis(scheibe), Quadrat, Rechteck und Dreieck mit den Angaben zu Auflösungsvermögen (0,05 mm) und Mindestzeichengröße (0,1 mm) ist festzustellen, dass das kartografische Mindestmaß größer ist. Lediglich die Linienstärke entspricht der in Abschnitt 2.4.2 angegebenen kleinsten Zeichengröße. Als Linie ist sie in dieser Stärke jedoch erst erkennbar, wenn der lineare Charakter durch eine bestimmte Mindestlänge der Linie deutlich wird.

Tabelle 2.4: Mindestgrößen isoliert stehender grafischer Triviale und Zeichen
(nach ARNBERGER/KRETSCHMER 1975)

Isoliert stehende grafische Form	Kriterium für Maß	Maße bei Schwarz-Weiß-Kontrast	Grafik	Maße bei farbigen Zeichen oder farbgetöntem Grund mit		Grafik	
				großem Tonwert- und Farbgewichtsunterschied	geringem Tonwert- und Farbgewichtsunterschied	a*	b**
Linie	Stärke	0,1 mm	—	0,1 mm	0,1 mm		
Doppellinie	Abstand	0,2 mm	——	0,2 mm	0,2 mm		
Kreisscheibe	Durchmesser	0,3 mm	.	0,55 mm	0,8 mm		
Kreis, hohl	Durchmesser	0,6 mm	◦	0,8 mm	1,1 mm		
Quadrat, voll	Seite	0,4 mm	▪	0,5 mm	0,7 mm		
Quadrat, hohl	Seite	0,6 mm	◻	0,7 mm	1,0 mm		
Rechteck, voll	a : b	0,3 : 0,6 mm	-	0,35 : 0,8 mm	0,5 : 1,1 mm		
Dreieck, hohl	Seite	0,8 mm	△	1,0 mm	1,5 mm		

* - für großen, ** - für geringen Tonwert- und Farbgewichtsunterschied

ARNBERGER/KRETSCHMER (1975) unterscheiden bei empirisch gewonnenen Angaben zu Mindeststärken und -abständen von Linien zwischen *visuell erfassbar* und *auszählbar* bzw. *verfolgbar*. Letzteres ist zum Beispiel für die Auszählung von Höhenlinien von Bedeutung. Tabelle 2.5 zeigt Angaben für Mindestmaße und Mindestabstände nach beiden Betrachtungsweisen. Notwendige Abstände zwischen Flächen sind von der Flächengröße abhängig. Für kleine Flächen genügen 0,2 mm. Der Abstand muss aber mit der Flächengröße steigen.

Tabelle 2.5: Visuelle Erfassbarkeit und Auszählbarkeit bei der Darstellung von Linien (nach (ARNBERGER/KRETSCHMER 1975))

Parallele Linien pro mm	Beschreibung
Visuell erfassbar, nicht auszählbar	
5	Linienstärke: 0,1 mm, Zwischenraum: 0,15 mm
4	Linienstärke: 0,1 mm, Zwischenraum: 0,2 mm
4	Linienstärke: 0,15 mm, Zwischenraum: 0,15 mm
Visuell verfolgbar und auszählbar	
3	Linienstärke: 0,1 mm, Zwischenraum: 0,4 mm
3	Linienstärke: 0,1 mm, Zwischenraum: 0,35 mm
3	Linienstärke: 0,15 mm, Zwischenraum: 0,3 mm
3	Linienstärke: 0,2 mm, Zwischenraum: 0,2 mm

Die Mindestgröße der Kartenschrift (auch Schriftgrad, -höhe oder -größe) wird in der Kartografie in Millimetern, seltener in typografischen Punkten oder anderen Punktmaßen angegeben. ARNBERGER/KRETSCHMER 1975 geben, wiederum auf empirischen Untersuchungen beruhend, für Großbuchstaben (Versalien) die Größe von 1,6 mm an, die nicht wesentlich unterschritten werden darf. Kleinere Schriften sollten nur in Ausnahmen verwendet werden. Die Großbuchstaben dürfen die Mindestgröße von 1,3 mm jedoch nicht unterschreiten. Abbildung 2.4 zeigt in diesen Größen dargestellte Schrift.

Versalienhöhe 1,6 mm		Versalienhöhe 1,3 mm	
Kartenschrift	Kartenschrift	Kartenschrift	Kartenschrift
Kartenschrift	Kartenschrift	Kartenschrift	Kartenschrift
Kartenschrift	Kartenschrift	Kartenschrift	Kartenschrift
Kartenschrift	Kartenschrift	Kartenschrift	Kartenschrift
Kartenschrift	Kartenschrift	Kartenschrift	Kartenschrift

Abbildung 2.4: Minimaler Schriftgrad

2.4.4 Kartografische Mindestmaße bei größerem Betrachtungsabstand

In kartografischer Fachliteratur wird erkannt, dass die Vergrößerung des Betrachtungsabstands höhere Mindestgrößen erfordert (z. B. HAKE/GRÜNREICH 1994). Die Angabe konkreter Werte erfolgt jedoch meist nicht, obwohl dies z. B. für die Gestaltung von Wandkarten wichtig wäre. Notwendige Größen für erhöhten Betrachtungsabstand können basierend auf den Angaben für normalen Leseabstand hergeleitet werden.

Ein größerer Leseabstand hat unter Beibehaltung der genannten Größen für normalen Leseabstand die scheinbare Verringerung der Größe der Grafikelemente, die Abnahme des Kontrasts, das Verschwimmen von Mustern und die perspektivische Verzerrung von Form und Richtung bei Änderung des Betrachtungswinkels zur Folge (BERTIN 1967). Die Erhöhung der angegebenen Maße verhindert die scheinbare Verringerung der Größe des Objekts und das Verschwimmen von Mustern.

In Tabelle 2.6, Spalte 4 ist der Winkel angegeben, unter dem bei normalem Leseabstand eine Auswahl der Kartenzeichen in den Größen von Tabelle 2.4 erscheint. Da die Winkel vom Betrachtungsabstand unabhängig sind, kann aus ihnen sofort der metrische kleinste Abstand bzw. die Mindestgröße für an-

dere Betrachtungsabstände nach Formel (2.4.3) berechnet werden (Spalten 5, 6 und 7). Auf Grund des kleinen Sehwinkels α ergibt sich eine fast lineare Beziehung zwischen den Betrachtungsabständen und den notwendigen Maßen.

Tabelle 2.6: Kartografische Mindestmaße in Abhängigkeit vom Betrachtungsabstand (nach NEUDECK 2001)

1	2	3	4	5	6	7
Grafische Triviale, Signatur	Kriterium für Maß	Mindestgröße (a) für den Betrachtungsabstand (y) = 30 cm (empirisch)	Sehwinkel (α)	Mindestgrößen (a) für die Betrachtungsabstände (y)		
				50 cm	6 m	100 m (berechnet)
Linie	Stärke	0,1 mm	1,14'	0,2 mm	2 mm	3,3 cm
Doppellinie	Abstand	0,2 mm	2,28'	0,3 mm	4 mm	6,7 cm
Kreisscheibe, Quadrat, voll	Durchmesser Seite	0,3 mm	4,4'	0,7 mm	8 mm	12,8 cm
Kreis, hohl u. Quadrat, hohl	Durchmesser Seite	0,6 mm	6,9'	1,0 mm	12 mm	20,0 cm
Dreieck, hohl	Seite	0,8 mm	9,2'	1,3 mm	16 mm	26,7 cm
Schrift	Versalienhöhe	1,6 mm	18,2'	2,7 mm	32 mm	53,3 cm

2.5 Gedruckte Karten

2.5.1 Papier

Papier ist Zeichnungsträger der meisten gedruckten Karten. Es ist ein vielfältig verwendbarer Werkstoff, der durch Siebentwässerung pflanzlicher Faseraufschwemmungen gewonnen und heute vorwiegend weiß in Bogen- und Rollenformat als universeller Beschreib- und Bedruckstoff eingesetzt wird. Papier hat als Bedruckstoff kartografischer Darstellungen in Europa seit über 500 Jahren Bedeutung.

Die Papierstabilität unterliegt äußeren Einflüssen. So ziehen Schwankungen in der Luftfeuchtigkeit Verzerrungen nach sich. Auch andere konventionelle Darstellungsträger (Folien und Filme) leiden wegen wechselnden äußeren Bedingungen unter Verformungen, so dass ihre Lagerung bei etwa konstanten äußeren Bedingungen erforderlich ist.

2.5.2 Auflagendruck

Heute gedruckte Karten werden im Offsetdruck hergestellt. TESCHNER (1991) und KIPPAN (2000) beschreiben dieses Druckverfahren, das 1904 von I. W. RUBEL und C. HERMANN entwickelt wurde, umfassend. Der Offsetdruck ist ein Flachdruckverfahren, bei dem die Bildteile von der Druckform zuerst auf ein Gummituch und anschließend auf den Zeichenträger übertragen werden (indirektes Druckverfahren). Er nutzt die Eigenschaft, dass die Druckform bei geeigneter Präparierung wasserabstoßend und farbannehmend an den Bildstellen und wasserannehmend und farbabstoßend an den bildfreien Stellen reagiert. Die Vorteile des Offsetdrucks sind seine Leistungsstärke, die Möglichkeit der Verwendung verschiedener Bedruckstoffe und die hohe Wiedergabequalität. Wegen dieser Eigenschaften setzte sich der Offsetdruck im 20. Jahrhundert im Kartendruck und in anderen grafischen Bereichen mit hohen Auflagezahlen, z. B. im Buch- und Zeitungsdruck, durch.

Die Anzahl der Druckgänge beim *Farbdruck* richtet sich nach der der Druckfarben. Vor dem Druckprozess jeder Farbe wird die Vorlage zunächst auf die Druckform (s. o.) übertragen. Für die Herstellung der Druckvorlagen müssen die Folien der Einzeldarstellungen (z. B. Zeichnungen, Schichtgravuren, Abziehfolien¹, Schriftmontagefolien und daraus entstandene Darstellungen) farbgetrennt zusam-

¹ Begriff aus der mechanischen bzw. fotografischen Kartentechnik. Durch Gravur gewonnene Strichdarstellung wird auf eine Folie aufgebracht und die Kopierschicht von Flächen zwischen der Strichdarstellung beseitigt.

menkopiert werden. Die Anzahl der Druckfarben bestimmt die Anzahl der zu fertigenden Druckvorlagen. Bei der subtraktiven Farbmischung lassen sich alle Farbtöne, auch unbunte Farben, aus Bestandteilen der Grundfarben (vgl. Abschnitt 2.2.3) bilden. Schwarz wird jedoch immer als weitere Druckfarbe verwendet, da es aus Addition der anderen Farben nur unsauber erzeugt werden kann. Karten werden teilweise auch einfarbig, meist nur schwarz, gedruckt. Zur visuellen Differenzierung werden in diesem Fall Grauwerte eingesetzt. Meist werden nicht mehr als 4 bis 6 verschiedene Tonwerte verwendet.

Halbtöne, das heißt alle unbunten und bunten Farbtöne, die nicht der vollen Intensität der Druckfarbe entsprechen, können nicht direkt im Kartendruck erzeugt werden und sind nur durch Simulation produzierbar. Durch diesen Umstand steigt im Zuge der Herstellung der Druckvorlagen die Anzahl notwendiger Kopiergänge in der konventionellen Kartenherstellung deutlich, wenn viele verschiedene Halbtöne einer Druckfarbe benötigt werden. Die Simulation erfolgt reproduktionstechnisch durch die Rasterung. Der Inhalt einer Vorlage wird in die grafische Struktur kleiner Punkte oder schmaler Linien zerlegt (MORGENSTERN 1985). Bei der amplitudenmodulierten Rasterung der konventionellen Kartografie bestimmt die Größe dieser Punkte der Rasterfolie den Tonwert. Der Abstand der Punkte einer Folie ist konstant und liegt etwa zwischen 1/6 mm und 1/12 mm. Die Punkte, die im Vollton der Druckfarbe gedruckt werden, verschmelzen bei diesem geringen Abstand für das menschliche Auge mit dem Hintergrund und täuschen den Halbton vor. Simulierbar sind nicht beliebig viele Farbtöne, z. B. bei Tonwertunterschieden von 10% der Rasterfolien und Kombination von zwei Druckfarben nur 100 Farbtöne.

In der digitalen Kartentechnik kann die frequenzmodulierte Rasterung angewandt werden. Sie ermöglicht fließende Übergänge von einem Grau- bzw. Farbwert zum nächsten. Die Töne werden durch sehr kleine, aber gleich große Rasterpunkte simuliert, wobei der Punktabstand den Tonwert bestimmt. Der Umfang reproduzierbarer Farbtöne ist größer als bei der amplitudenmodulierten Rasterung. Die frequenzmodulierte Rasterung eignet sich für Drucke, bei denen Halbtöne dominieren. In der digitalen Kartentechnik sind das z. B. die Vorstufe für den Druck von Luftbildern und die Herstellung von Reliefschummerungen.

Aufwändige Kopierprozesse zur Herstellung einer Halbtondruckvorlage entfallen mit den Möglichkeiten der rechnergestützten Kartografie. Alle Farbtöne können direkt in den Anteilen der subtraktiven Druckfarben gemischt werden. Grafikprogramme (z. B. CorelDraw und Freehand) erlauben die Ausgabe auf Belichtern in Farbauszügen der kurzen Farbskala. Erst bei diesem Prozess entstehen die simulierten Halbtöne.

2.5.3 Kommunikationssituation bei gedruckten Karten

Traditionelle kartografische Darstellungen unterliegen verschiedenen Beschränkungen. Diese Restriktionen sind nach DRANSCH (1995 und 1997) der statische, der isolierende, der selektive und der passive Charakter von Karten. Ähnlichen Betrachtungen widmete sich bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts HETTNER (1910). Der statische Charakter sagt aus, dass Papierkarten nur Raumzustände, das heißt Momentaufnahmen, zeigen können. Die unmittelbare Wiedergabe von Zeitabläufen ist hingegen nicht möglich. Die zur Darstellung von dynamischen Prozessen in Karten dienenden Darstellungsmethoden, wie Bewegungslinien und Zeitreihenkarten, verfügen nicht über die notwendige Kapazität, die Statik in Papierkarten zu überwinden.

DRANSCH (1995 und 1997) sieht den isolierenden Charakter gedruckter Karten darin, dass sie lediglich eine bestimmte Auswahl von Geobjekten durch Kartenzeichen wiedergeben können. Die Darstellung aller an einem Ort vereinigten Erscheinungen ist nicht möglich. Die Folge ist, dass die Systemzusammenhänge nicht betrachtet und analysiert werden können. Die konventionelle Kartografie versucht den isolierenden Charakter durch zweckmäßigen Einsatz ihrer Gestaltungsmittel zu überwinden. Dazu zählen Präsentationsformen wie die Mehrschichtenkarte und nebeneinander bzw. transparent überein-

ander stehende Einzelkarten. Zur thematischen Isolierung tritt, bedingt durch die Begrenzung des Kartenblattes, die räumliche Isolierung.

Der selektive Charakter von Papierkarten liegt darin, dass sie Erscheinungen und Sachverhalte immer nur in einer bestimmten Form zeigen können. Die Wahl dieser Form erfolgt dabei unter verschiedenen Darstellungsmitteln. Jedes dieser Mittel verfügt über Eigenschaften, die es zur Darstellung von Sachverhalten und Erscheinungen in einer bestimmten Weise geeignet machen. Aber selbst bei Einhaltung der Regeln zur Anwendung kartografischer Darstellungsmittel lässt sich der selektive Charakter in Karten nicht wirklich überwinden.

Der Nutzer kann die Karte nicht an seine Bedürfnisse anpassen, sondern nur die in der Karte gespeicherten Informationen wahrnehmen. Gedruckte Karten haben damit einen passiven Charakter. KELNHOFER (2000) spricht vom *monodirektionalen Informationsfluss* bei Nutzung des Printmediums. Gedruckte Karten stellen ein Endprodukt dar, welches inhaltlich und grafisch vom Kartografen festgelegt ist. MÜLLER (1997) bezeichnet den Kommunikationsfluss bei Produkten der „alten“ Kartografie als *Einbahnkommunikation*.

2.6 Kartografische Darstellungen am Bildschirm

Seit dem letzten Drittel des 20. Jahrhunderts werden Karten nicht mehr nur auf konventionellen Zeichenträgern, sondern auch durch elektronische Bildträger visualisiert. Seit den 70er Jahren sind Bildschirme (Kathodenstrahlröhren) in der grafischen Datenverarbeitung im Einsatz. Seit den 80er Jahren werden neue Bildschirmtechniken, wie Flüssigkristall- und Plasmabildschirme, entwickelt. Der Begriff *Bildschirm* fasst alle Bilddarstellungsträger zur Visualisierung digitaler Daten zusammen. In diesem Kapitel werden die Anwendungsarten für kartografische Darstellungen am Bildschirm vorgestellt. Die Bildschirmtechnik steht im Kapitel 3 im Vordergrund. Kapitel 4 zeigt Algorithmen, nach denen die Grafik erzeugt wird und behandelt die Bildstörung bei der Visualisierung am Bildschirm.

2.6.1 Auflösung und Bildpunkt

Alle an Bildschirmen gezeigten Darstellungen unterliegen den Eigenschaften der Bildpunktmatrix. Grundlegende Beziehungen zwischen Auflösung und Bildpunktgröße zeigt Tabelle 1.1. Der Bildpunkt ist das grafische Grundelement jeder am Bildschirm betrachteten Grafik. Seine Größe variiert etwa zwischen $0,20 \times 0,20 \text{ mm}^2$ und $0,35 \times 0,35 \text{ mm}^2$ und bestimmt die physikalische Auflösung des Monitors.

Unterschiedliche Bildpunktgrößen an verschiedenen Monitoren wirken sich wie verschiedene Auflösungen eines Bildschirms auf die Darstellungsgröße einer Grafik bzw. den Maßstab einer Karte aus. Gestalterisches Arbeiten ist unter verschiedenen Auflösungen und unterschiedlichen Bildpunktgrößen nicht möglich. Der Umgang mit kartografischen Darstellungen (Maßstabsangabe und Größenangaben von Kartenzeichen) wird dagegen erschwert. Die Angabe des numerischen Maßstabs, die von Strichstärken und Signaturgrößen für die Gestaltung der Kartengrafik sind unter unterschiedlichen Bildpunktgrößen schwierig.

Die Steuerung der Darstellungsgröße in Grafikprogrammen erlaubt die Wiedergabe der Grafik in der ursprünglichen Größe unter variablen Bildpunktgrößen. Die Basen für die Angabe der Darstellungsgröße sind in Grafikprogrammen verschieden und können sich z. B. auf ein metrisches System oder auf die Einpassung eines Papierformats in die Größe des Grafikfensters beziehen.

2.6.2 Datentypen

Kartografische Darstellungen durch elektronische Bildanzeigen treten in verschiedenen Formen auf. Auf der Basis von Vektordaten zählen dazu die als interaktive Arbeitskarten bezeichneten Grafiken im GIS- und CAD-Bereich und die Visualisierung aus topografischen Karten abgeleiteter digitaler Geo-

daten. Auf Rasterdaten basieren Bilddaten der digitalen Bildverarbeitung (Luft- und Satellitenbilder) und digitalisierte topografische Karten (Rasterkarten). Das grafische Grundelement von Rasterdaten ist eine Fläche (Pixel - *picture element*), die rechteckiger oder quadratischer Form ist und eine Farbinformation trägt. Pixel sind in Form einer Matrix zeilen- und spaltenweise angeordnet. Diese Struktur hat zur Folge, dass der Speicherbedarf von Rasterdaten im Vergleich zu Vektordaten höher ist.

Rasterdaten werden erzeugt, indem eine konventionelle Kartenvorlage durch Scannen digital erfasst wird oder Vektordaten gerastert werden. Rasterdaten werden immer anzeigefertig auf einem Speichermedium vorgehalten (z. B. *Offline*-Medium CD-ROM, *Online*-Medium Internet). Nach BILL/FRITSCH (1994) liegen die Hauptanwendungsgebiete ihrer Verarbeitung im Maßstabbereich von 1:10 000 bis 1:1 Mill.

Vektordaten werden erfasst, indem die grafischen Grundelemente, Punkte, Linien und Flächen als geschlossene Linienzüge von einer Vorlage punktweise digitalisiert werden. In digital gespeicherten Koordinatenlisten vorliegende Ergebnisse von Vermessungen tragen ebenfalls zur Erstellung von Vektordaten bei. Knoten-Kanten- oder Flächentopologien und Nachbarschaftsbeziehungen können neben den metrischen Geometriedaten gespeichert werden. Vektordaten werden auf einem Speichermedium vorgehalten und z. B. auf Anfrage aus einer Koordinatenliste oder Datenbank abgerufen und visualisiert. Dafür benötigen sie in jedem Fall Programme, die den Grafikaufbau ermöglichen. Nach BILL/FRITSCH (1994) ist für die Geodatenverarbeitung die gesamte Maßstabsskala für Vektordaten von Bedeutung. Im Maßstabbereich von 1:100 bis 1:10 000 sind sie dominant.

Raster- und Vektordaten können hybrid verwendet werden. Tabelle 2.7 fasst den Einsatz von Vektordaten, Rasterdaten und hybriden Daten für die kartografische Visualisierung zusammen.

Tabelle 2.7: Vektor- und Rasterdaten für die kartografische Visualisierung

Vektordaten	Rasterdaten	hybride Verwendung
<ul style="list-style-type: none"> digitale Kartenherstellung für die konventionelle Ausgabe Kartengrafiken im GIS- und CAD-Bereich Karten, die im Internet ("online") oder auf CD-ROM ("offline") zur Verfügung gestellt werden 	<ul style="list-style-type: none"> Luft- und Satellitenbilder digitalisierte Landeskartenwerke und sonstige Karten Karten, die im Internet ("online") zur Verfügung gestellt werden 	<ul style="list-style-type: none"> Luft- und Satellitenbildkarte kartenbasiertes Auskunftssystem ("online" und "offline")

Eine auf die Eigenschaften von Bildanzeigen optimierte Kartengrafik verbessert auf jeden Fall die Lesbarkeit. Sie ist eine Form, die in Raster- und Vektordaten oder auch in hybrider Verwendung zur Verfügung gestellt werden kann.

2.6.3 Anwendungsarten

Eine andere Untergliederung der Bildschirmkarten erfolgt nach Anwendungsart. Unterschieden wird danach zwischen passiven Karten oder Betrachtungskarten, interaktiven Karten und Analysekarten (ASCHE 1996). Passive Karten zeigen statische Darstellungen ohne Möglichkeiten interaktiver Einflussnahme. Als Beispiel dafür können ebenfalls Rasterdaten topografischer Karten dienen. Die Klassifizierung weiten KRAAK/ORMELING (1996) auf Atlanten aus (*view-only*, *interactive* und *analytical electronic atlases*).

Interaktive Karten ermöglichen die nutzergesteuerte Bearbeitung der grafischen und mit Einschränkung auch der inhaltlichen Struktur der digitalen Kartenbasis. Dafür stehen Zeichenfunktionen, Symbolbibliotheken usw. zur Verfügung. Mit interaktiven Karten ist die kurzfristige Kartenzusammenstellung und die Herstellung einer aufgabenspezifischen Kartengrafik möglich.

Elektronische (oder digitale bzw. digital gespeicherte) Analysekarten (Raumanalysekarten) nutzen alle grafischen und alphanumerischen Rauminformationen einer Kartendatenbank. Ihrem Nutzungspotenzial nach sind sie komplexe, kartenbasierte Informationssysteme. Sie unterscheiden sich von interaktiven Karten durch ihre datenbankorientierte Funktionsweise (ASCHE 1996 und 2001). ARTIMO (1994) bezeichnet sie als kartografische Informationssysteme. Die in Tabelle 2.7 genannte Anwendung sogenannter kartenbasierter Auskunftssysteme ist elektronischen Analysekarten zuzuordnen. Sie kann als Form von Geoinformationssystemen umschrieben werden. Die kartografische Darstellung steht jedoch im Vordergrund. Durch Eingabemasken können Datenbanken abgefragt werden. Die Ergebnisse der Abfrage werden im Kartenbild visualisiert. Inzwischen ist auf diese Form der Analysekarte auch über das Internet zugreifbar (kartenbasiertes Auskunftssystem – online).

3 Bildschirm- und Projektionstechnik

Bei der Darstellung von Grafik auf Bildschirmen bestimmen Grafikkarte und die Eigenschaften des Monitors die grafische Qualität der Bildanzeige². Sie wird an folgenden Eigenschaften gemessen:

- Möglichst kleine Bildpunkte und damit hohe Auflösung des Bildschirms
- Große Anzahl darstellbarer Farben und hohe Wiedergabequalität der Farben
- Große nutzbare Oberfläche (Bilddiagonale) des Monitors
- hohe Bildwiederholrate zur Simulation eines flimmerfreien Bildes bei Kathodenstrahlröhren (s. Kapitel 3.2)

Die wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Bildpunktgrößen, Auflösungen und Bildformaten wurden bereits in Tabelle 1.1 gezeigt. Die vier Varianten der Auflösung stehen dort stellvertretend für eine Vielzahl an Möglichkeiten. Ab der Auflösung von 1 600 x 1 200 bzw. 1 600 x 1 280 Bildpunkten wird von Hochauflösung gesprochen. Monitorhersteller empfehlen für Anwendungen der grafischen Datenverarbeitung Monitore mit Bilddiagonalen von 46 cm (19“) oder größer. Darüber hinaus gehende Ansprüche im Bereich der Erzeugung von Text und Grafik zur Erstellung von Druckvorlagen erfordern 20“- oder 21“-Monitore. Für die großformatige Projektion von Grafik durch Datenprojektoren gelten teilweise andere Bedingungen. Darauf wird in Kapitel 3.7 eingegangen.

3.1 Grafikkarte

Eine Grafikkarte enthält die Elektronik zur Steuerung des Bildschirms (GARDNER 1992). Sie übermittelt digitale Daten vom Prozessor über den Systembus (PCI - , AGP-Bus oder andere) und wandelt sie in Videosignale um, die am Bildschirm dargestellt werden. Wichtige Komponenten sind der Video- oder Grafik-Chip, der Bildspeicher (*VRAM – video random access memory*) und ein Digital-Analog-Wandler (*RAMDAC - random access memory digital-to-analog converter*). Der RAMDAC ist ein Mikroprozessor, der die Farbinformationen des digitalen Bildes in analoge Signale wandelt und die Ausgabe zum Monitor steuert.

Der Bildspeicher muss über eine ausreichende Größe verfügen, um verschiedene Auflösungen und Farbmodi unterstützen zu können. Die Farbinformation jedes Bildpunktes wird über X- und Y- Adressen im Bildspeicher angesprochen. Wenn die Farbinformation mehrere Bits pro Bildpunkt umfasst, dies ist in der Regel der Fall, wird der Teil des BildwiederholSpeichers, in dem die Bildinformation liegt, als *Pixmap* bezeichnet. Die Pixmap wird in einem Teil des Hauptspeichers der CPU abgelegt und im Bildspeicher der Grafikkarte abgebildet.

In der grafischen Datenverarbeitung wird ein Bildspeicher von mindestens 8 MB (Megabyte) empfohlen. Die notwendige Speichergröße ergibt sich aus dem Produkt der Auflösung des Bildschirms und der Farbtiefe in Bytes. Grafikkarten, die mit Hilfe von Grafikprogrammen eine 3D-Darstellung mit Berücksichtigung schattierter und überdeckter Bereiche der Bildanzeige rechnen können, benötigen jeweils den dreifachen Bildspeicher. Sie verfügen über einen Z-Buffer, in dem Informationen über die dritte Dimension (Tiefeinformation) vorgehalten werden.

Die Länge des Eingangesignals für den Digital-Analog-Wandler kann von 1 bit bis 24 bit variieren. Die digitalen Farbinformationen werden mit einer Farbtabelle ausgewertet, wenn die Grafikkarte lediglich eine Farbtiefe von 8 bits oder 16 bits verarbeiten kann. Nicht unterstützten Farben werden in diesem Fall ähnliche Farbwerte zugeordnet (sogenannte Palettengrafik). Das digitale Farbsignal wird direkt an

² Der Begriff Bildanzeige steht für die Aktion des Zeigens eines Bildes am Bildschirm.

den RAMDAC übergeben, wenn die Grafikkarte die Farbtiefe von 24 bits (16 777 216 Farben, sogenannte Echtfarbengrafik) verarbeiten kann.

3.2 Kathodenstrahlröhren

Die technische Entwicklung der Kathodenstrahlröhre (Bildröhre, *CRT – Cathode Ray Tube*), die auf eine über 100jährige Geschichte zurückblickt, gilt als abgeschlossen. Sie ist eng mit der Entwicklung der Fernsehtechnik verbunden. Die erste Röhre mit einem elektromagnetischen Ablenksystem wurde 1897 von F. BRAUN hergestellt. Die einfarbige, statische Bilddarstellung auf einer Leuchtstoffschicht (Lumineszenzschicht) wurde 1928 von P. NIPKOW, das Verfahren der Zwischenzeilenabtastung (*interlaced scanning*) 1930 von F. SCHRÖTER und die heutige Technik der Kathodenstrahlröhre 1932 von M. v. ARDENNE entwickelt. 1941 wurden Farbbildröhren beim Test des ersten Farbfernsehprogramms eingesetzt (BRETTEG 1991). Heute ist die Kathodenstrahlröhre in der elektronischen Datenverarbeitung das dominierende Bilddarstellungsmedium. 1998 wurden für Fernseh- und Computeranwendung etwa 225 Millionen Geräte produziert (90 % aller produzierten Bildschirme, BLANKENBACH 1999).

3.2.1 Bilderzeugung

Die Bilderzeugung durch eine Kathodenstrahlröhre erfolgt durch ein Strahlerzeugungs- und -ablenksystem innerhalb einer Hochvakuumröhre, auf deren Schirminnenseite eine Leuchtstoffschicht (Lumineszenzschicht) aufgetragen ist, die bei Auftreffen des Elektronenstrahles leuchtet. Die Erzeugung des Strahles erfolgt durch eine Glühkathode, die z. B. mit einer Bariumoxidschicht ausgestattet ist und bei Beheizung Elektronen emittiert. Farbmonitore verwenden, da sie im RGB-Farbmodell arbeiten, drei Elektronenstrahlen. Die Elektronen werden durch Eintritt in ein elektrisches Feld, das durch ein hohes positives Anodenpotenzial im Kilovoltbereich erzeugt wird, in Richtung Anodensystem beschleunigt. Das in Abbildung 3.1 dargestellte Anodensystem besteht aus zwei zylinderförmigen Lochblenden, an denen unterschiedliche Spannungen anliegen. Die Spannungen beider Anoden bewirken eine konvexe Feldlinienverteilung, durch welche die Elektronenstrahlen exakt fokussiert werden. Sie treffen so als kleiner Punkt auf der Leuchtstoffschicht des Bildschirms auf. Die Formwahrung der auftreffenden Elektronenstrahlen in den Ecken des Bildes wird durch die sogenannte dynamische Fokussierung erreicht. Dabei sind neben einer dynamischen Fokussierlinse vier weitere Linsen in die Strahlerzeugungssysteme integriert, welche die schräg auftreffenden Elektronenstrahlen so steuern, dass ihr Bild kreisrund ist. Die Bewegungsenergie der auftreffenden Elektronen wird dabei durch Fluoreszenz in Licht umgesetzt (JACKËL 1992).

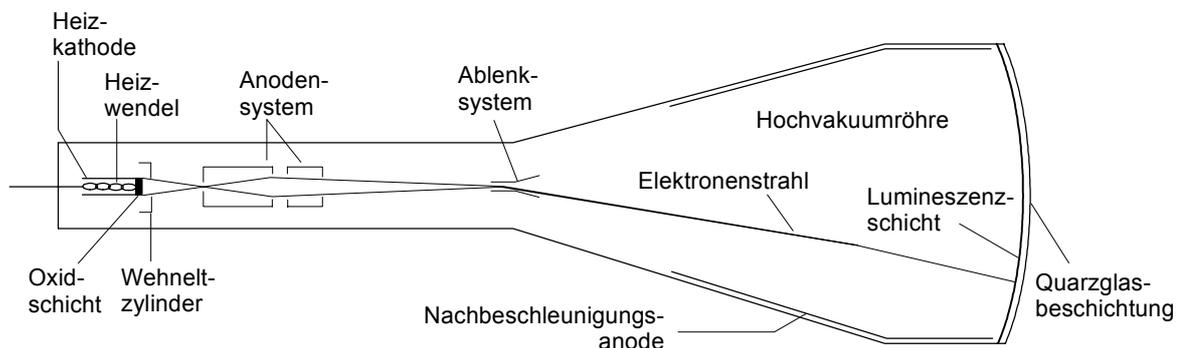


Abbildung 3.1: Aufbau der Kathodenstrahlröhre (nach JACKËL 1992)

Mit der beschriebenen Technik arbeiten alle Kathodenstrahlröhren. Die Erzeugung des sichtbaren Bildes ist jedoch bei Vektor- und Rasterkathodenstrahlröhren verschieden. Bei Vektorbildschirmen wird der Elektronenstrahl zwischen den Endpunkten von Linien bewegt. Die Bildinformation ist in einer Datei (*display file*, PURGATHOFER 1986) gespeichert. Vektorbildschirme arbeiten meist monochrom und werden heute noch als Bestandteil spezieller Geräte in der Medizin und der Physik genutzt. Ras-

terkathodenstrahlröhren lösten sie in den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts allmählich ab. Diese Technik ist heute dominant. Bei ihr wird der Elektronenstrahl kontinuierlich über die gesamte Lumineszenzschicht bewegt.

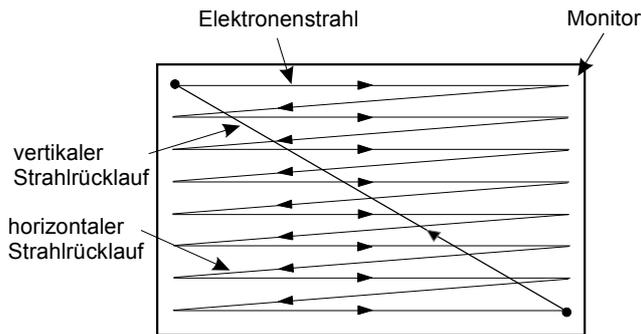


Abbildung 3.2: Austastung des Bildschirms durch den Elektronenstrahl (nach FELLNER 1992)

Die Abtastung der Lumineszenzschicht beginnt links oben und wird Zeile für Zeile durchgeführt. Die Rückführung des Elektronenstrahles vom Zeilenende zum Beginn der nächsten Zeile wird als horizontaler Strahlrücklauf bezeichnet. Wenn der Elektronenstrahl das Ende der letzten Bildzeile erreicht hat, erfolgt der vertikale Strahlrücklauf zur linken oberen Ecke und der Bilddarstellungszyklus beginnt erneut. Während des horizontalen und vertikalen Strahlrücklaufs unterliegt der Elektronenstrahl einer Dunkelsteuerung (passiver Strahl). Das Ablenssystem (vgl. Abbildung 3.1) ermöglicht die Austastung des Bildes, das heißt die Positionierung des Strahles nacheinander auf jeden Bildpunkt. Es besteht aus Spulen, durch die Wechselspannungen geleitet werden und die ein Magnetfeld erzeugen. Die Spulen sind so angeordnet, dass sie unabhängig voneinander horizontale und vertikale Richtungsänderungen des Elektronenstrahles bewirken können. Durch Steuerung des Magnetfeldes werden Richtung und Schärfe des Elektronenstrahles bestimmt. Das Prinzip der Bildschirmaustastung gibt Abbildung 3.2 wieder.

Die Bildschirmaustastung bewirkt, dass das sichtbare Bild nicht statisch ist. Dem menschlichen Auge wird ein statisches Bild simuliert, wenn die Bildwiederholrate oder -frequenz, das heißt die Anzahl der Austastungen in einer Sekunde, bei 85 Hz oder höher liegt (vgl. Abschnitt 3.8.1).

3.2.2 Typen

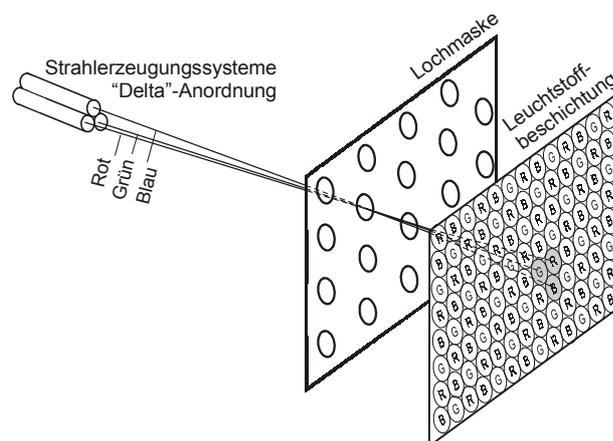
Unmittelbar vor Auftreffen auf die Leuchtstoffschicht (z. B. Phosphorschicht) wird der Elektronenstrahl ausgeblendet, um eine genaue Ausrichtung zu ermöglichen. Zur punktgenauen Ausrichtung werden Loch-, Streifen- oder Schlitzmasken verwendet. Dadurch wird verhindert, dass die äußeren Bereiche der Elektronenstrahlen benachbarte Leuchtstoffteilchen treffen. Die Masken bestimmen Bildpunktgröße, -abstand und -schärfe. Die Leuchtstoffschicht ist in der Bildschirmmitte und an den Rändern unterschiedlich dick aufgetragen. Daher leuchten die Ränder länger als die Mitte des Bildschirms. Auf diese Weise wird der längere Weg des Elektronenstrahles zu Rändern und Ecken des Bildschirms kompensiert. Der Lumineszenzschicht folgt als äußere Abgrenzung der Monitoranzeige eine entspiegelte Quarzglasbeschichtung. Sie reduziert Blendeffekte und statische Elektrizität.

Lochmasken-Bildröhren besitzen drei Strahlerzeugungssysteme. Die Lochmaske besteht aus einer Metall- oder Keramikplatte. Die Elektronenstrahlen treffen auf ein dreieckig angeordnetes Farbtripel von Leuchtstoffpunkten. Die Lochmasken-Bildröhre wird daher auch als Delta-Röhre bezeichnet. Abbildung 3.3 *Lochmasken-Bildröhre* verdeutlicht ihre Funktion. Monitore mit Lochmaske sind mechanisch belastbarer als jene mit Streifen- oder Schlitzmaske. Ihr Bild wirkt jedoch blasser und ihre Farbreinheit ist geringer, da nur ein kleiner Teil des Lichts die Maske passieren kann. Die Lochmasken-Bildröhre ist horizontal und vertikal gewölbt.

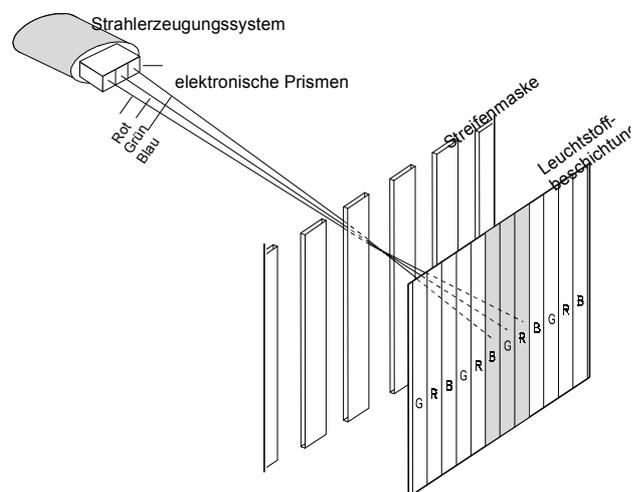
Streifenmasken-Bildröhren besitzen ein Strahlerzeugungssystem, aus dem drei Elektronenstrahlen austreten. Die Fokussierung der Strahlen erfolgt mit einer elektronischen Linse und drei elektronischen Prismen (JACKËL 1992). Maske und Leuchtstoffschicht bestehen aus vertikalen Streifen (sogenannte *in-line* Anordnung der Phosphorstreifen). Abbildung 3.3 *Streifenmasken-Bildröhre* verdeutlicht ihre Funktion. Zu den Eigenschaften zählt die relative Unempfindlichkeit gegenüber der während des Betriebs auftretenden Wärmeentwicklung. Vorteile solcher Monitore sind die gleichmäßige Schärfe und die große Helligkeit des Bildes und die lediglich zylindrische Wölbung der Oberfläche. Sie sind jedoch weniger mechanisch belastbar als Lochmasken-Bildschirme. In Abhängigkeit von der Auflösung muss die Elektronenstrahlgröße geändert werden, da die Bildpunkthöhe bei verschiedenen Auflösungen variabel ist. Die maximale Bildpunkthöhe wird erreicht, wenn der Monitor mit der kleinsten Auflösung und damit der kleinsten Zeilenzahl, z. B. 480 Zeilen, arbeitet.

Schlitzmasken vereinen Eigenschaften von Loch- und Streifenmasken. Stabilitätsprobleme, wie bei Streifenmasken-Bildröhren, werden vermieden, da die Schlitze zur Verbesserung der Stabilität unterbrochen werden. Die Beschaffenheit der Leuchtstoffbeschichtung ist mit jener bei Streifenmasken-Bildröhren identisch. Das Prinzip der Strahlerzeugung entspricht dem der Lochmasken-Bildröhre (Abbildung 3.3 *Schlitzmasken-Bildröhre*, JACKËL 1992).

Lochmasken-Bildröhre



Streifenmasken-Bildröhre



Schlitzmasken-Bildröhre

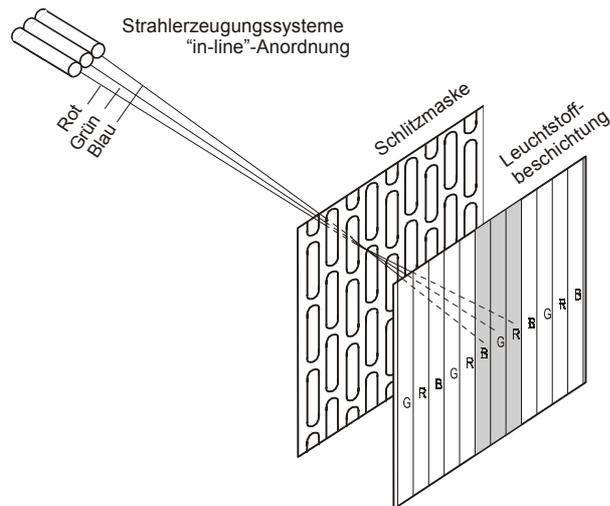


Abbildung 3.3: Aufbau von Loch-, Streifen- und Schlitzmasken-Bildröhren
(nach JACKËL 1992)

3.2.3 Technische Spezifikation

Die Leuchtstoffpartikel haben Größen von $5\ \mu\text{m}$ bis $10\ \mu\text{m}$. Sie werden wegen dieser geringen Ausdehnung vom Auge nicht wahrgenommen. Die Schichtdicke liegt zwischen $10\ \mu\text{m}$ und $30\ \mu\text{m}$.

Die Bildpunktgrößen von Lochmasken- und Streifen- bzw. Schlitzmasken-Bildröhren sind etwa identisch und liegen bei $0,22 \times 0,22\ \text{mm}^2$ bis $0,31 \times 0,31\ \text{mm}^2$. Die Bildpunkte sind in Sub-Pixel aufgeteilt, die jeweils in einer Grundfarbe leuchten. In Abbildung 3.4 wird die Größe der Bildpunkte mit D gekennzeichnet, die der Sub-Pixel mit d . D entspricht dem Abstand zwischen zwei Bildpunkten, der *dot pitch* bei der Lochmaske, *grill pitch* bei der Streifenmaske und *slot mask* bei der Schlitzmaske genannt wird und die physikalische Auflösung bestimmt. Die Größe der Sub-Pixel ist bedingt durch die Delta-Anordnung bei Lochmasken-Bildschirmen größer als die bei Streifen- und Schlitzmasken-Monitoren.

Die Leuchtdichte (L) wird bei Bildschirmen meist als Helligkeit bezeichnet. Sie wird durch den Quotienten aus Leuchtkraft und Fläche ausgedrückt und bei Monitoren gewöhnlich in cd/m^2 angegeben (Zur Definition der Candela siehe z. B. TIPLER 1994.).

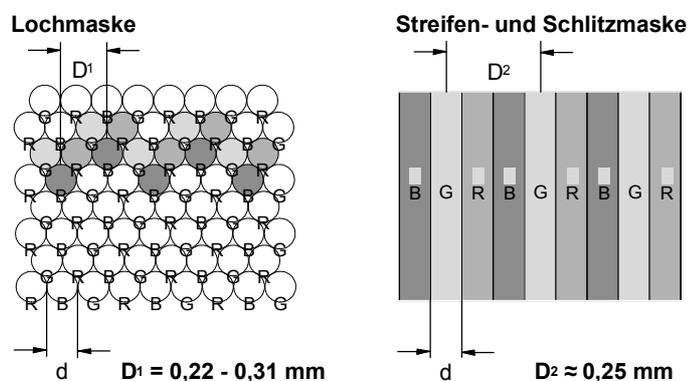


Abbildung 3.4: Bildpunkt- und Sub-Pixelgröße bei Loch-,
Streifen- und Schlitzmaske (nach JACKËL 1992)

Der Kontrast wird durch das Verhältnis der Leuchtdichte zwischen einem hell und einem dunkel geschalteten Bildpunkt in $x:1$ ausgedrückt. Die obere Wahrnehmungsgrenze für das menschliche Auge liegt bei einem Kontrast von 500:1.

Der Blickwinkel gibt über den vertikalen und horizontalen Bereich vor dem Bildschirm Auskunft, innerhalb dessen das Auge das angezeigte Bild erkennt. Er wird in Grad angegeben. Zum Beispiel bedeutet die Angabe des horizontalen Blickwinkels 90° , dass das Bild innerhalb des Bereichs von 45° beiderseits der Bildmittelechse lesbar ist. Für Kathodenstrahlröhren lassen sich folgende technische Parameter nennen:

- *Größe und Dichte der Bildpunktmatrix:* 800 x 600 Bildpunkte bei 33,6 cm (15“)³
Bilddiagonale, 2 048 x 1 536 Bildpunkte bei 58 cm (24“) Bilddiagonale
- *Anzahl der darstellbaren Farben:* 16 777 216 (Echtfarbengrafik)
- *Leuchtdichte (Helligkeit):* meist nicht mehr als 150 cd/m²
- *Kontrast:* bis 300:1
- *Blickwinkel:* horizontal und vertikal 180°

3.2.4 Neue Entwicklungen

Die Zukunft für Kathodenstrahlröhren liegt vor allem in der Herstellung von Monitoren mit großer Bilddiagonale (größer als 53 cm bzw. 22“) und höheren Auflösungen. Bildschirme mit Auflösungen von 1 920 x 1 200 und 2 048 x 1 536 Bildpunkten werden bereits produziert. Außerdem wird die Verringerung der Bautiefe durch Verwendung von Flachbildröhren angestrebt. Eine weitere Entwicklung ist die Änderung des Größenverhältnisses der Monitore von 4:3 oder 5:4 zum 16:9- oder 1:1-Format. Letzteres verspricht eine bessere Darstellung der Grafik für Bilder von Digitalkameras. Computerhersteller rechnen mit der Ablösung der herkömmlichen Monitortechnik der Kathodenstrahlröhre durch die im Folgenden beschriebenen Techniken nach dem Jahr 2002. Eine andere Entwicklungsrichtung ist die deutliche Verringerung der Bildpunktgrößen. Bildschirme mit Bilddiagonalen von 43 cm und 50 cm (17“- und 21“) mit 2 500 bzw. 2 800 Pixeln in einer Zeile und einem Bildpunktabstand von 0,13 mm befinden sich bereits im Experimentierstadium (vgl. OKANO u. a. 1999, MAKITA u. a. 1999).

3.3 Flüssigkristallbildschirme

Flüssigkristallbildschirme (*LCD – Liquid Crystal Displays*) sind heute der wichtigste Vertreter sogenannter Flachbildschirme. Solche Bildschirme werden seit den 60er Jahren gebaut. Flachbildschirme sind Monitore, die auf Grund ihrer Bilddarstellungstechnik ein geringeres Bauvolumen als Kathodenstrahlröhren aufweisen. Alle im Folgenden beschriebenen Techniken zählen zu ihnen.

Flüssigkristalle sind Substanzen, die sich in einem stabilen Zustand zwischen dem flüssigen und dem festen Aggregatzustand befinden. Sie verfügen über die Fließeigenschaften von Flüssigkeiten. Ihre Moleküle weisen, ähnlich wie die von Kristallen, eine Orientierungsrichtung auf. Ihre Form ist lang gestreckt oder scheibenförmig. Abhängig von der Ausrichtung werden verschiedene Arten von Flüssigkristallen unterschieden. Große Bedeutung für die Bildschirmtechnik haben nematische⁴ Flüssigkristalle, die fadenförmig ausgerichtet sind (JACKÈL 1992).

³ In cm wird die sichtbare Bilddiagonale angegeben. Die Angaben in inch (“) beziehen sich auf den Durchmesser des Glaskolbens der Vakuumröhre, von dem ein Teil außerhalb des sichtbaren Bereichs liegt.

⁴griechisch: nema = der Faden

3.3.1 Bilderzeugung

Flüssigkristallmoleküle werden zwischen zwei Polarisatoren, die aus transparentem Kunststoff oder Glas bestehen, eingeschlossen. Die Polarisatoren bewirken, dass nur in eine Richtung schwingende Lichtwellen durchgelassen werden. Leuchtstofflampen bilden die Lichtquelle, welche hinter, neben oder über der Darstellungsfläche angebracht ist und gegebenenfalls durch Reflexion das Licht gleichmäßig über den gesamten Bildschirm verteilt. Die Durchlassrichtung des Lichts für den zweiten Polarisator steht im rechten Winkel oder im Winkel 270° zu der des ersten. Bei der Hellsteuerung sind die Flüssigkristallmoleküle verdrillt angeordnet (Abbildung 3.5 links). Die Flüssigkristallformation wirkt wie eine Blende und beeinflusst den durchgelassenen Lichtstrahl beim Anpassen der Schwingungsrichtung vom ersten zum zweiten Polarisator. Das wird durch die natürliche strickleiterförmige Ausrichtung der Flüssigkristallmoleküle ermöglicht (Abbildung 3.5). Wenn am Transistorenfeld eine Spannung anliegt, erscheinen die Bildpunkte dunkel, da sich die Flüssigkristallmoleküle zu den Polarisatoren senkrecht anordnen und den Lichtdurchlass verhindern. Die Schwingungsrichtung der Lichtwellen steht dann im rechten Winkel zum zweiten Polarisator. Der Grad des Lichtdurchlasses, der die Helligkeit der Bildpunkte bestimmt, wird durch verschiedene Höhen elektrischer Spannungen bestimmt. Da die Lichtquelle weißes Licht aussendet, wird es durch Farbfilter für jede Grundfarbe gefiltert (vgl. auch Abbildung 3.6, JACKÈL 1992).

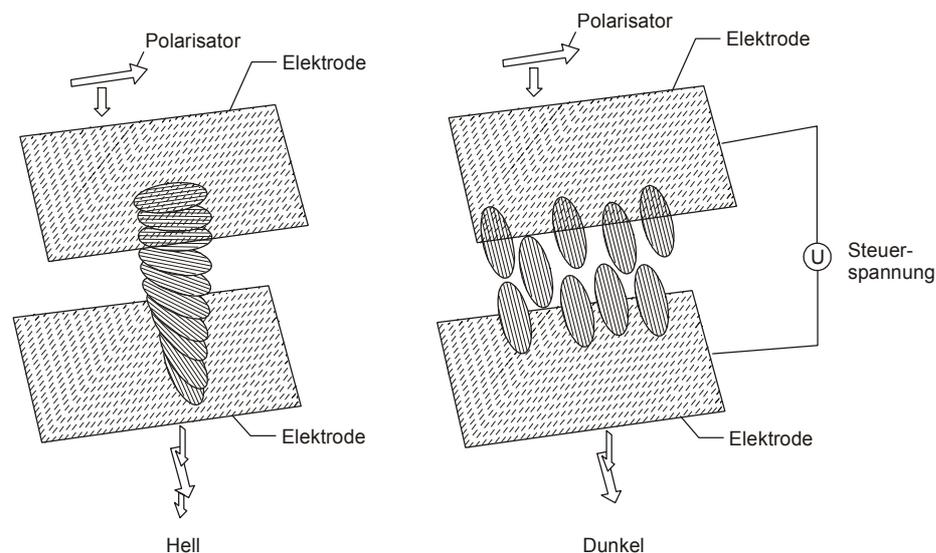


Abbildung 3.5: Prinzip des verdrillt-nematischen Flüssigkristallbildschirms (aus JACKÈL 1992)

3.3.2 Aktivmatrix- und Passivmatrixverfahren

Flüssigkristallbildschirme arbeiten zur Ansteuerung der Bildpunkte mit dem Aktivmatrix- oder dem Passivmatrixverfahren. Bei der älteren Technik des Passivmatrixverfahrens werden die einzelnen Flüssigkristallzellen nacheinander durch Zeilen-Spalten-Elektroden aus transparentem Material angesteuert, die matrixförmig den gesamten Bildschirm erfassen. Dieses Prinzip ist mit der zeilenweisen Abtastung bei Kathodenstrahlröhren vergleichbar. Eine träge Einstellung der Flüssigkristalle ist notwendig, um das Verblässen im passiven Darstellungszeitraum zu verhindern. Sie bewirkt ein leichtes Verschwimmen bewegter Bilder, z. B. die Schweifbildung am Cursor. Prinzipiell eignen sich auf dem Passivmatrixverfahren beruhende Monitore nur für die Arbeit mit statischen Darstellungen und im Textverarbeitungsbereich, obwohl bei jüngeren Produkten der Verzögerungseffekt durch Aufteilung des Monitors in zwei horizontale, unabhängig voneinander arbeitende Hälften (*Dual Scan Display*) vermindert wurde.

Beim Aktivmatrixverfahren werden zur Ansteuerung der einzelnen Bildpunkte Dünnschichttransistoren (TFT – *Thin Film Transistor*, Abbildung 3.6) verwendet. Dieses Verfahren ermöglicht die Aktivierung und Überwachung jedes einzelnen Bildpunktes und durch Verwendung schnellerer Flüssigkristalle eine wesentlich kürzere Reaktionszeit. Für jedes Sub-Pixel gibt es einen Transistor, so dass bei der Auflösung von 1 024 x 768 Bildpunkten über 2,3 Mill. Transistoren arbeiten. Von diesen Transistoren dürfen nur wenige defekt sein. Mit diesem Anspruch sind hohe Produktionskosten verbunden. TFT-Flüssigkristallbildschirme sind heute die dominierende Flachbildschirmtechnik. Sie arbeiten mit großer Helligkeit und hohem Kontrastverhältnis.

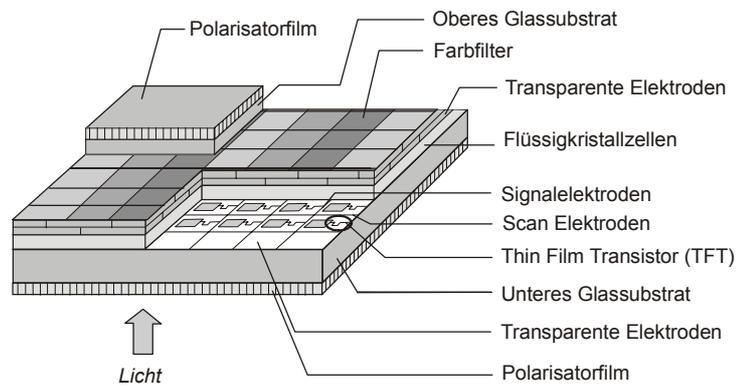


Abbildung 3.6: Aufbau eines Aktivmatrix-Flüssigkristallbildschirms

Beim Aktivmatrixverfahren werden die X- und Y-Adressen im Bildspeicher gleichzeitig angesprochen. Hohe Bildwiederholraten können erreicht werden. Die Bildwiederholrate ist mit dem Bilddarstellungssystem abzustimmen, da sonst Flimmereffekte auftreten.

Flüssigkristallbildschirme arbeiten anders als Kathodenstrahlröhren mit digitalen Farbsignalen. Nach der Digital-Analog-Wandlung des RAMDAC (vgl. Kapitel 3.1) folgt eine Analog-Digital-Wandlung des Farbsignals, da die Bildschirme zunächst das analoge Ausgabesignal des RAMDAC aufnehmen müssen. Diese erneute Wandlung ist mit einem Qualitätsverlust des darzustellenden Bildes verbunden. Einige Flüssigkristallbildschirme können bereits ohne Umwandlung des originalen digitalen Farbsignals in Verbindung mit einer digitalen Grafikkarte arbeiten. Dabei ist keine zweifache Signalwandlung erforderlich.

3.3.3 Technische Spezifikation

Abbildung 3.7 zeigt die streifenförmige Anordnung der Bildpunkte bei Flüssigkristallbildschirmen. Die Delta-Anordnung ist ebenfalls möglich, bringt aber bei dieser Technik eine geringere Linienschärfe mit sich. Die Bildpunkte sind rechteckig oder quadratisch. Sie bestehen aus drei separaten Sub-Pixeln (JACKEL 1992). Die Größe der Bildpunkte (D) kann aus Abbildung 3.7 entnommen werden.

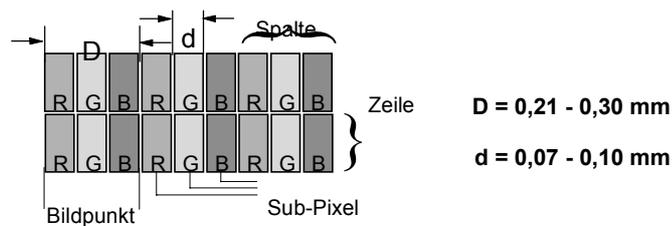


Abbildung 3.7: Anordnung und Größe der Bildpunkte bei Flüssigkristallbildschirmen

Ein technisches Problem bei Flüssigkristallbildschirmen ist der Verschleiß der Lichtquelle, der, je heller der Monitor betrieben wird, desto höher ausfällt. Im Durchschnitt verliert die Lampe nach 15 000 Betriebsstunden bis zur Hälfte ihrer Leuchtkraft. Der vergleichbare Verschleiß bei Bildröhren beträgt in dieser Zeit nur etwa 30 %. Die Leistung wird durch folgende Merkmale beschrieben:

- *Größe und Dichte der Bildpunktmatrix:* 800 x 600 Bildpunkte bei 30 cm (12“) Bilddiagonale⁵, 1 280 Pixel x 1 024 Pixel bei 43 cm (17“) Bilddiagonale, 1 920 x 1 200 Bildpunkte bei 61 cm (24“) Bilddiagonale
- *Anzahl der darstellbaren Farben:* bis 16 777 216 (Echtfarbengrafik)
- *Leuchtdichte (Helligkeit):* 200 cd/m² und höher
- *Kontrast:* bis 350:1, sehr hoch
- *Blickwinkel:* horizontal bis 160°, vertikal geringer

3.3.4 Neue Entwicklungen

Die technische Entwicklung von Flüssigkristallbildschirmen ist, wie die der Kathodenstrahlröhren, abgeschlossen. Parallel zu ihnen werden Bildschirme hergestellt, die mit einem ähnlichen Produktionsprinzip arbeiten. Solche Derivate sind TFD- und FLC-D-Monitore. TFD steht für *Thin-Film-Diode*. Bei diesem Verfahren werden an Stelle von Transistoren Dioden zur Ansteuerung der Bildpunkte verwendet. Das *Ferroelectric-Liquid-Crystal-Display* (FLC-D) ist eine Weiterentwicklung des Flüssigkristallbildschirms, an der zur Zeit intensiv gearbeitet wird. HANDSCHY u. a. (1996) beschreiben einen kleinformigen FLC-Bildschirm mit einem horizontalen Bildpunktabstand von 30 µm. Die Herstellungskosten sind jedoch enorm.

3.4 Plasmabildschirme

Plasmabildschirme sind das Ergebnis einer weiteren Monitortechnik. Ihre Entwicklung begann etwa 1960. Großformatige Farbbildschirme werden seit den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts produziert. Sie sind für Anwendungen vorgesehen, die größere Betrachtungsabstände als z. B. der Bildschirm am Arbeitsplatz erfordern.

3.4.1 Bilderzeugung

Als Plasma werden ionisierende Gase bezeichnet. Die physikalischen Eigenschaften solcher Gase werden bei der Herstellung von Plasmabildschirmen ausgenutzt. Plasma ist elektrisch leitfähig, wobei ab einer bestimmten Stromstärke Leuchterscheinungen auftreten. Die Funktionsweise von Plasmabildschirmen verbindet die Lichterzeugung durch den Plasmaeffekt mit der Lichtaussendung durch Phosphor. Ein Bildelement des Plasmabildschirms besteht aus zwei Elektroden, die parallel zueinander angeordnet sind. Die hintere der Elektroden, die Anzeigeelektrode, verfügt an ihrer Oberfläche über eine Magnesiumoxidschicht. An der vorderen Elektrode (Adresselektrode) sind meist streifenförmig angeordnete Phosphorschichten aufgetragen. Zwischen beiden Elektroden befindet sich ein Hohlraum, der mit einem Neon-Xenon-(Argon)Gemisch gefüllt ist. Ein Stromfluss zwischen beiden Elektroden veranlasst die Entladung der Gasionen und die Freisetzung ultravioletter Strahlung. Die Strahlung emittiert sichtbares Licht durch Aktivierung der Phosphorpunkte (BLANKENBACH 1999). Abbildung 3.8 zeigt den Aufbau eines Bildelements des Plasmabildschirms.

⁵ Die Angaben in cm und inch (Zoll, “) beziehen sich bei Flüssigkristallbildschirmen auf die Länge der sichtbaren Bilddiagonale. Zum Beispiel ist die Bilddiagonale eines 18“-Flüssigkristallbildschirms größer als die einer 19“-Kathodenstrahlröhre.

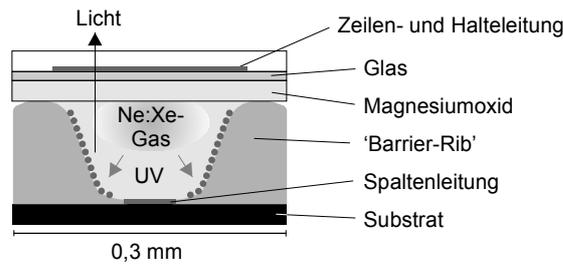


Abbildung 3.8: Bildelement des Plasmabildschirms
(nach BLANKENBACH 1999)

3.4.2 Technische Spezifikation

Die Anordnung der Bildpunkte entspricht der von Flüssigkristallbildschirmen (Abbildung 3.9).

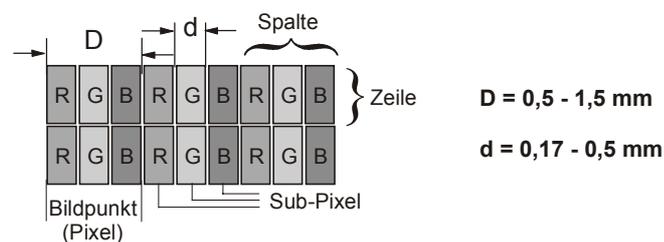


Abbildung 3.9: Anordnung und Größe der Bildpunkte bei
Plasmabildschirmen

Die großen Unterschiede der Bildpunktgrößen (D) sind mit den verschiedenen Betrachtungsabständen und den daraus resultierenden unterschiedlichen Längen der Bilddiagonalen zu begründen. Je größer der Betrachtungsabstand, desto größere Bildpunkte sind ausreichend. Die Pixelgröße muss reduziert werden, wenn Plasmabildschirme zukünftig für Anwendungen mit kleineren Betrachtungsabständen eingesetzt werden sollten. Die Firmen *NHK* und *Matsushita* haben bereits einen 42"- (107 cm) Plasma-monitor mit 1 925 x 1 035 Pixeln entwickelt (DTA 1997). Die Bildpunktgröße dieser Monitore liegt mit etwa 0,25 mm² im Bereich heute üblicher Plasmabildschirme. Neue Entwicklungen weisen noch kleinere, aber stark rechteckig wirkende Bildpunkte auf (Größe 0,2 x 0,8 mm²).

Die Leistung von Plasmabildschirmen wird durch folgende Merkmale beschrieben:

- *Größe und Dichte der Bildpunktmatrix*: 640 x 480 Bildpunkte bei 53 cm (21") Bilddiagonale, üblich sind 852 x 480 Bildpunkte bei 107 cm (42") Bilddiagonale, 16:9 Format, heute bis 152 cm (60") Bilddiagonale (SCHEUERER 2000)
- *Anzahl der darstellbaren Farben*: 16 777 216, zum Teil 26 Mill. (Echtfarbengrafik)
- *Leuchtdichte (Helligkeit)*: etwa 300 cd/m², auch bis 500 cd/m²
- *Kontrast*: etwa 400:1, bis 500:1
- *Blickwinkel*: horizontal und vertikal 160° und größer

Plasmabildschirme zeigen hohen Kontrast und hohe Leuchtkraft. Sie teilen auch Vorteile anderer Flachbildschirme, wie die Unabhängigkeit von magnetischen Feldern. Sie sind von langer Lebensdauer. Ihre Leuchtkraft lässt auch nach vielen Betriebsjahren kaum nach.

3.5 Weitere Bildschirmtechniken

Computerhersteller gehen davon aus, dass TFT-Flüssigkristallbildschirme im Jahre 2005 die dominierende Bilddarstellungstechnik sein werden. Neben ihnen und Plasmabildschirmen befinden sich weitere Techniken in der Entwicklung, die in absehbarer Zeit zur Herstellung neuer Bildschirme im grafischen Bereich führen können. Andere Monitore werden vor allem für Anwendungen mit kleinen Formaten und geringer Leistung hergestellt. Dieses Kapitel soll einen Überblick über einige, vor allem junge Darstellungstechniken geben. Der großen Vielfalt kann dabei nicht Rechnung getragen werden, da ständig neue Techniken entwickelt werden. LIPPERT (2000) unterscheidet zwischen Lichtstrahler- (Selbstleuchter) und Lichtventiltechnologien (Hintergrundbeleuchtung) und ordnet die Bildschirmstechniken nach dem physikalischen Prinzip der Lichtaussendung (Elektronenstrahlung, Elektrolumineszenz usw.). Tabelle 3.1 zeigt diese Einteilung.

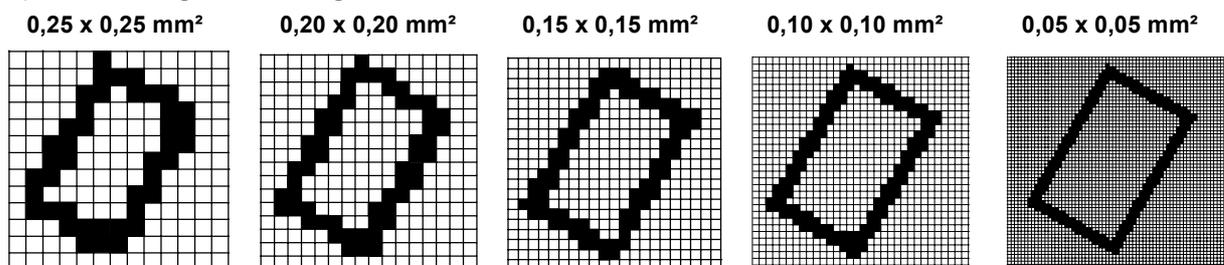
Tabelle 3.1: Bildschirmstechniken (nach LIPPERT 2000, Auswahl)

Lichtstrahler-Technologien		Lichtventil-Technologien	
Elektronenstrahlung (Phosphor)	Elektrolumineszenz (Elektrisches Feld)	Aktive Flüssigkristalle (Pixelschalter*)	Plasma adressiert (Gasladung)
<ul style="list-style-type: none"> • Feldemissions-Bildschirme • Fotokathoden-Bildschirme 	<ul style="list-style-type: none"> • OLE-Bildschirme (OLED) • TFEL-Bildschirme 	<ul style="list-style-type: none"> • MIM-Bildschirme 	<ul style="list-style-type: none"> • PALC-Bildschirme
* Hell- oder Dunkelschaltung der Bildpunkte			

Ziel der Entwicklung neuer Techniken ist unter anderem die Verkleinerung der Bildpunkte, um die Lesbarkeit von Text und Grafik zu verbessern. Dadurch wird der durch die Rasterkonvertierung verursachte Treppeneffekt (Kapitel 4.1ff.) verringert. Die Größe der Bildpunkte würde wahrscheinlich nicht mehr als störend empfunden, wenn die Dichte der Bildpunktmatrix die Auflösung 120 p/cm (300 dpi) oder eine höhere Auflösung erreicht. Dann könnten Text und Grafik wie für konventionelle Drucke gestaltet werden. Lediglich der größere Betrachtungsabstand wäre zu berücksichtigen.

Die quadratische oder rechteckige Struktur der Bildpunktmatrix ist jedoch auch bei kleineren Bildpunktgrößen als den heutigen sichtbar. Abbildung 3.10a) zeigt ein Rechteck (Linienstärke 0,15 mm) in Bildpunktmatrizen verschiedener Größe bei etwa zehnfacher Vergrößerung. Das linke Beispiel mit der Bildpunktgröße von 0,25 x 0,25 mm² entspricht heute üblichen Monitoren. Die Verbesserung bei der Erkennbarkeit des Rechtecks zeigt auch die nicht vergrößerte Darstellung in Abbildung 3.10b).

a) Darstellung 10fach vergrößert



b) Darstellung 1:1



Abbildung 3.10: Verbesserung der Lesbarkeit bei kleiner werdenden Bildpunkten

Die Produktion von Bildschirmen mit kleineren Bildpunkten ist bei einigen Techniken möglich. Für viele Anwendungen für Arbeitsplatzmonitore mit Betrachtungsabstand von etwa 50 cm und Bild diagonalen von 38 cm (15“) und größer gibt es jedoch kaum Bedarf an kleineren Bildpunkten. Die Erhöhung der Farbechtheit ist für solche Bildschirme von höherer Priorität als die Reduzierung der Pixelgröße. Kleinformatige Bildschirme (siehe Kapitel 3.6) können die wünschenswerte Erhöhung gleichzeitig darstellbarer Information mit wesentlich kleineren Bildpunkten als den heute üblichen Größen dagegen erreichen.

Die Entwicklungsstände der im Folgenden vorgestellten Techniken sind sehr verschieden. Die Beschreibungen lassen nicht in jedem Fall eine Angabe zu Bildschirm- und Bildpunktgrößen oder einen unmittelbaren Vergleich zu. Auch ist der Literatur nicht für jede beschriebene Technik zu entnehmen, ob sie noch im Experimentierstadium ist oder sich bereits der Produktionsreife nähert.

3.5.1 Feldemissions-Bildschirme

Feldemissions-Bildschirme (FED - *Field Emission Display*) arbeiten mit einem der Kathodenstrahlröhre ähnlichen Prinzip. Sie nutzen die Eigenschaft, dass „starke elektrische Felder auf Grund des ‚Tunneleffekts‘⁶ aus ‚kalten‘ Metallen Elektronen herauslösen“ (TIPLER 1994). Eine aufwändige Heizung ist nicht notwendig und die Produktion flacher Bildschirme mit geringem Stromverbrauch möglich. Phosphor kann jedoch erst bei hohen Spannungen zur Farberzeugung genutzt werden. Die Bildschirme nutzen keine Elektronenstrahlen, welche die Phosphorpunkte einzeln ansteuern, sondern arbeiten mit flächenhaften Elektronenquellen. Auf dem Kathodenmaterial sind, ähnlich einer Lochmaske, Gitterlöcher (*microtips*) aufgebracht. Sie haben Durchmesser von etwa 50 nm. Mehrere tausend solcher *Tips* bilden einen Bildpunkt. Bisher wurden Monitore hoher Qualität vor allem mit kleinen Bild diagonalen und hoher Leuchtdichte produziert (vgl. WANG u. a. 1999). Der Prototyp eines vollfarbigen 15“-Monitors wurde 1998 vorgestellt. Abbildung 3.11 zeigt Aufbau und Funktionsprinzip eines Feldemissions-Bildschirms (BLANKENBACH 1999).

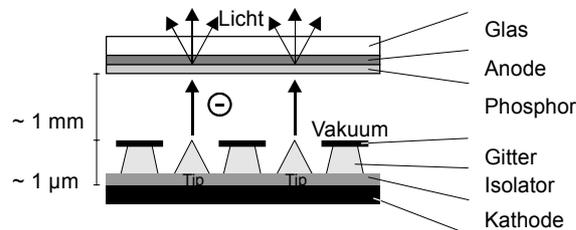


Abbildung 3.11: Aufbau und Funktionsprinzip eines Feldemissions-Bildschirms (aus BLANKENBACH 1999)

3.5.2 Fotokathoden-Bildschirme

Hohe Auflösungen erreichen Fotokathoden-Bildschirme (PCD – *Photo Cathode Display*). Ihr Darstellungsprinzip beruht ebenfalls auf Leuchterscheinungen bei Phosphor. Fotokathode, Vakuum und Phosphor werden zwischen zwei Glasplatten eingeschlossen. Das Anlegen einer Spannung löst Elektronen aus der Kathode heraus, welche die Phosphorschicht an der Anode beim Auftreffen zum Leuchten bringen (vgl. Abbildung 3.12). Die Bildschirme zeichnen sich durch hohe Leuchtkraft, hohen Kontrast und geringe Leistungsaufnahme aus. Bei geringen Herstellungskosten ist die Produktion von Geräten großer Bild diagonalen und kleiner Bildpunkte (20 µm horizontaler Abstand) denkbar (102 cm bzw. 40“, CULKIN 1998).

⁶ ein Effekt, bei dem Elektronen auch ohne Erwärmung des Metalls aus diesem herausgelöst werden. Dies geschieht durch Überwindung einer Potenzialbarriere, wobei die Energie geringer ist als die theoretisch notwendige (TIPLER 1994).

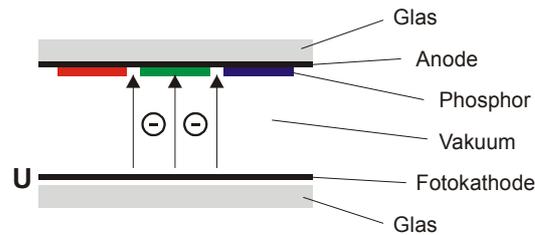


Abbildung 3.12: Aufbau eines Fotokathoden-Bildschirms (nach CULKIN 1998)

3.5.3 OLED-Bildschirme

Die Technik Licht emittierender Dioden (LED – *Light Emitting Diode*) ist eine ältere Darstellungstechnik. Ihre Weiterentwicklung liegt in der Nutzung organischer Substanzen als Emittiermaterial (OLED-*Organic Light Emitting Diode*). In Kombination mit dem Aktivmatrixverfahren sind hohe Farbtiefe und hohe Auflösungen möglich. Abbildung 3.13 zeigt den Aufbau eines OLED-Bildschirms.

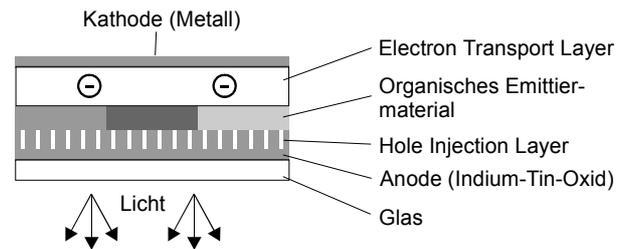


Abbildung 3.13: Aufbau eines OLED-Bildschirms (nach RAJESWARAN u. a. 2000)

Die Anode ist transparent. Durchsichtig kann auch der gesamte Monitor hergestellt werden. Von der Anode aus werden der ersten organischen Schicht Hohlräume (*hole injection layer*) zugeführt. An der Kathode werden Elektronen injiziert. Bei Überschreitung einer Schwellenspannung treffen Hohlräume und Elektronen zusammen. Die Elektronen emittieren Licht durch den Elektrolumineszenzeffekt. Bemerkenswert ist, dass bei OLED-Bildschirmen die Delta-Anordnung der Bildpunkte möglich ist. Die Bildpunkte sind jedoch rechteckig. Die Produktion sehr flacher Monitore ist möglich. Die Farbdarstellung beschränkt sich derzeit jedoch auf kleine Gerätegrößen. RAJESWARAN u. a. (2000) beschreiben die Entwicklung eines kleinen OLED-Bildschirms mit dichter Bildpunktmatrix und kleiner Bildpunktgröße (vertikal 165 μm , horizontal 57 μm). Bei neuesten Entwicklungen, die auf der SID-Konferenz 2001 vorgestellt wurden, sind die Bildpunkte noch kleiner (Kantenlänge: 0,015 mm). SCHEUERER (2000) bezeichnet solche Monitore als die derzeit vielversprechendste neue Bildschirmtechnik. Die Erkenntnisse über die OLED-Technologie sind jedoch noch gering.

Eine neue Qualität bei der Produktion von OLED-Bildschirmen wurde im Jahre 2001 erreicht, in dem die Firma Sony einen vollfarbigen Monitor mit 33 cm Bilddiagonale (13“), einer Auflösung von 800 x 600 Bildpunkten und einem Kontrastverhältnis von 300:1 präsentierte (MAISER/EHRFELD 2001).

3.5.4 Elektrolumineszenz-Bildschirme

Elektrolumineszenz-Bildschirme werden wegen der geringen Lebensdauer und der hohen Energieumsetzung wohl kaum an Bedeutung gewinnen. Eine Zwischenlösung ist der TFEL-Bildschirm (TFEL-*Thin Film Electro Luminescence*). Er ermöglicht hohe Auflösungen und könnte mittelfristig eine Alternative zu Flüssigkristall- und Plasmabildschirmen darstellen (SCHEUERER 2000).

3.5.5 MIM-Bildschirme

Die Technik von MIM-Bildschirmen (MIM = *Metall-Isolator-Metall*) basiert auf dem bereits erläuterten Aktivmatrixverfahren der TFT-Technik (Abschnitt 3.3.2). An Stelle von Transistoren werden zur Ansteuerung der Bildpunkte Dioden verwendet. Bis heute wurden Bildschirme kleiner Bilddiagonale (bis zu 25 cm bzw. 10“) hergestellt. BAEUERLE u. a. (1999) beschreiben einen solchen MIM-Bildschirm.

3.5.6 PALC-Bildschirme

Beim PALC-Verfahren (*Plasma Addressed Liquid Crystal-Verfahren*) werden Flüssigkristall- und Plasmatechnik kombiniert. Das Bild wird aus etwa 450 horizontalen Plasmakanälen aufgebaut. Die Bildpunktdichte ist durch die Größe der Plasmakanäle auf etwa $0,5 \times 0,5 \text{ mm}^2$ beschränkt. Vollfarbige PALC-Bildschirme mit $1\,920 \times 960$ Bildpunkten wurden bereits produziert (107 cm bzw. 42“ Bilddiagonale, SHARP 1998). Abbildung 3.14 zeigt den Querschnitt eines Bildelements des PALC-Bildschirms.

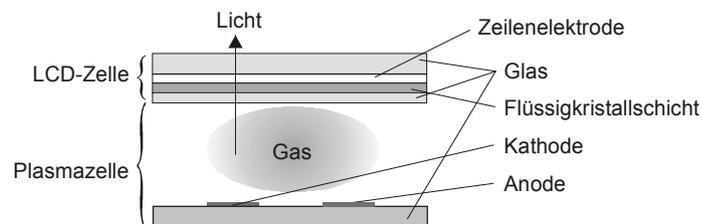


Abbildung 3.14: Bildelement des PALC-Bildschirms
(aus ITOU u. a. 2000)

3.5.7 LEP-Bildschirme

Im Hinblick auf die Entwicklung kleinerer Bildpunkte erscheint die LEP-Technologie besonders interessant (LEP – *light emitting polymers*). LEP-Bildschirme werden wesentlich preiswerter zu produzieren sein, als dies heute bei Flüssigkristallbildschirmen der Fall ist. Die Kunststoffe, aus denen sie bestehen, geben ihnen eine elastische Gestalt. Sie sind nur wenige Millimeter dick. Die Bildqualität ist nicht vom Betrachtungswinkel abhängig. Die Bildpunktgröße entspricht etwa der von heute üblicher Bildschirmtechnik, wird aber in Zukunft verkleinert werden können. Abbildung 3.15 zeigt den Aufbau von LEP-Monitoren (CDT 2000, MAY 1996).

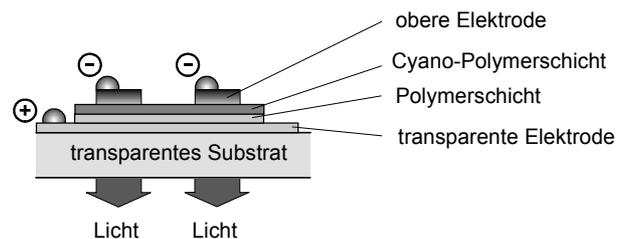


Abbildung 3.15: Aufbau eines LEP-Bildschirms (aus CDT 2000)

3.6 Kleinformatige Bildschirme

Kleinformatige Bildschirme werden vor allem in mobilen Geräten eingesetzt (z. B. Mobiltelefone, sogenannte *Handheld*-Geräte, Bildschirme von Navigationshilfen usw.). Sie gewinnen beim Einsatz in Geräten für ortsbezogene Dienste (*Location Based Services*) schnell an Bedeutung. Die Größe der Bildanzeige, die Anzahl und zum Teil auch die Größe der Bildpunkte sind dabei sehr verschieden. Der Standard für die Bildpunktanzahl einer Bildanzeige für Mobiltelefone liegt gegenwärtig bei 96×60 oder 96×65 Bildpunkten, die Bildpunktgröße liegt bei etwa $0,3 \times 0,3 \text{ mm}^2$. Geräte mit größerem Funktionsumfang verfügen mitunter über die dreifache Auflösung (180×96 oder 100×160 Bildpunkte). Größer sind die Bildanzeigen der anderen genannten Geräte. Standard-Bildpunktzahlen sind 240×320 und die doppelte Größe (240×640). Für die Anzahl der darstellbaren Farben sind 1 (monochrom), 16 und 256 typisch. Weitere Geräte gehören wegen ihrer Bildschirmgröße und ihrer Leistung zur sogenannten *Sub-Notebook-Klasse*.

KANEKO u. a. (1996) beschreiben Konzept und Anwendungen portabler, aufklappbarer Geräte. In naher Zukunft wird die Technik aufroll- und faltbarer Bildschirme Praxisreife erlangen. Neben Flüssigkristallbildschirmen können für kleinformatige Monitore einige der genannten neuen Techniken

eingesetzt werden. Das betrifft Techniken, bei denen die Bildpunkte kleiner sind, damit bei geringer Größe der Bildanzeige hohe Auflösungen erreicht werden können (vgl. WANG u. a. 1999). Hier kann in Zukunft die OLED-Technologie mit hohen Auflösungen an Bedeutung gewinnen (GARTNER 2000a).

3.7 Projektoren

Bei Projektoren wird das in der Grafikkarte des Rechners erzeugte Bildsignal auf optischem Weg auf eine Projektionsfläche übertragen. Die Hauptanwendungsgebiete der Projektionstechnik liegen in der gewöhnlich großformatigen Präsentation von Texten, Bildern und Filmen. Parallelen zu den Bildschirmtechniken sind bei einigen Projektoren feststellbar. Die Vielfalt der Techniken ist bei Projektoren aber nicht so groß. Die Arbeitsweisen der Bildübertragung bei Röhren-, LCD-, DLP- und Laserprojektoren sowie bei der Lichtventiltechnik werden im Folgenden vorgestellt.

3.7.1 Bildübertragung

Röhrenprojektoren spielen für die Datenpräsentation heute keine große Rolle mehr. Sie arbeiten ähnlich wie Kathodenstrahlröhren, nutzen jedoch für jede Grundfarbe eine eigene Bildröhre. Über ein Linsensystem werden die drei entstehenden Bilder auf der Projektionsfläche übereinander gelegt. Wie Kathodenstrahlröhren erlaubt diese Projektionstechnik die Einstellung verschiedener Auflösungen (MROTZEK 2000).

Bei der LCD-Projektionstechnik wird das Videosignal auf eine Flüssigkristallschicht (*LCD Chip*) oder je eine Schicht für die drei Grundfarben übertragen. Der Projektor wird mit Durch- oder Rückprojektion von einer Lichtquelle betrieben. Die Flüssigkristallschicht steuert die Lichtdurchlässigkeit. Wenn drei LCD-Chips verwendet werden, wird das weiße Licht der Lichtquelle über dichroitische Spiegel in die Grundfarben zerlegt. Nach dem Passieren der Chips werden die Lichtstrahlen in einem Prisma zusammgeführt. Bei Verwendung nur eines Chips wird zusätzlich ein Farbfilter benötigt. Ein Linsensystem ist für die Fokussierung der Lichtstrahlen auf die Präsentationsfläche verantwortlich. Die Rückprojektion macht die Seitenumkehr des Bildes im Linsensystem erforderlich. LCD-Projektoren sind heute die dominierende Projektionstechnik (Abbildung 3.16 *LCD-Projektor*, MROTZEK 2000).

Die Lichtventiltechnik ist eine Weiterentwicklung des Röhrenprojektors. Sie ist auch mit der LCD-Projektionstechnik verwandt. Die Verstärkung des schwachen Farbsignals erfolgt durch eine Projektionslampe. Dieser sind Spiegel vorgelagert, die das von der Lampe ausgesendete Licht zerlegen. Auf der Oberfläche der Bildröhren befindet sich ein sogenanntes Lichtventil, eine mehrschichtige Anordnung von Flüssigkristallen. Das Bildsignal wird mit dem Licht der Projektionslampe phasenmoduliert und verstärkt. Ein zweites Spiegelsystem mischt die dann sehr hellen Bilder in der Projektionsoptik.

Interessant ist die DLP-Projektionstechnik. Das zentrale Bauteil ist der DMD-Chip (*DMD – Digital Micromirror Device*), der Analog-Digital-Wandler, Bildspeicher und Videoprozessor enthält. Seine Oberfläche trägt bewegliche Spiegel, die jeweils mit einem Bildpunkt korrespondieren. Das Videosignal wird an den Bildspeicher des DMD-Chips übertragen und steuert die Hell- und Dunkelschaltung der Spiegel. Heute produzierte Geräte sind mit bis zu 2,3 Millionen Spiegeln ausgestattet und können eine Auflösung von 1 280 x 1 024 Bildpunkten verarbeiten (HORNBECK 1998). DMD-Chips, welche die Auflösung von 1 280 x 720 Bildpunkten im 16:9-Format unterstützen, werden bereits produziert (MROTZEK 2000).

Beim 1-Chip-DMD-System (vgl. Abbildung 3.16 *DLP-Projektor*) ist der Lichtquelle ein Farbfilterrad vorgelagert, das in Filter der Grundfarben geteilt ist. Das Rad lässt von der Lichtquelle ausgesendetes Licht passieren. Dieses trifft auf die gespiegelte Oberfläche. Das Drehmoment der Scheibe ist mit der Bildwiederholrate des Videosignals synchronisiert. Jede Farbe wird etwa 60 mal in der Sekunde aufgefrischt.

Das 2-Chip-DMD-System berücksichtigt den schwachen Rotanteil der Lichtquelle. Das Filterrad verfügt über Farbfilter für magenta und gelb. Das Magenta-Segment lässt rotes und blaues Licht passieren, des Gelb-Segment grünes und rotes Licht. Daraus resultiert ein stabiler Rotanteil. Die Farbseparation erfolgt durch ein Prisma, von welchem der Rotanteil zu einem DMD, der grüne und der blaue Anteil zu einem zweiten DMD gerichtet werden. Die Vereinigung der Anteile erfolgt ebenfalls im Prisma, von welchem das Bild auf die Projektionsfläche projiziert wird.

Beim 3-Chip-DMD-System separiert und kombiniert ein Prisma die Farbanteile. Jeder Grundfarbe kommt ein eigenes DMD-Feld zu. Ein Farbfilterrad ist nicht erforderlich. Dieses System garantiert einen höchsten Grad an Helligkeit und Farbbrillanz (HORNBECK 1998).

Der DLP-Projektor liefert im Vergleich zu LCD-Projektoren brillantere Farben. Das Bild erscheint schärfer, da die Ausdehnung der Bildpunktmatrix nicht ausschließlich vergrößert wird, sondern die Spiegel die sichtbare quadratische Struktur der Bildpunkte auf der Projektionsfläche einschränken. Die Begrenzungen des Bildpunktes, die bei den Sub-Pixeln LCD-projizierter Bilder bei kleinem Betrachtungsabstand deutlich durch dunkle Linien sichtbar werden, sind bei der DLP-Projektion kaum sichtbar (vgl. Abbildung 3.16, „Bildpunktmatrix auf der Projektionsfläche“).

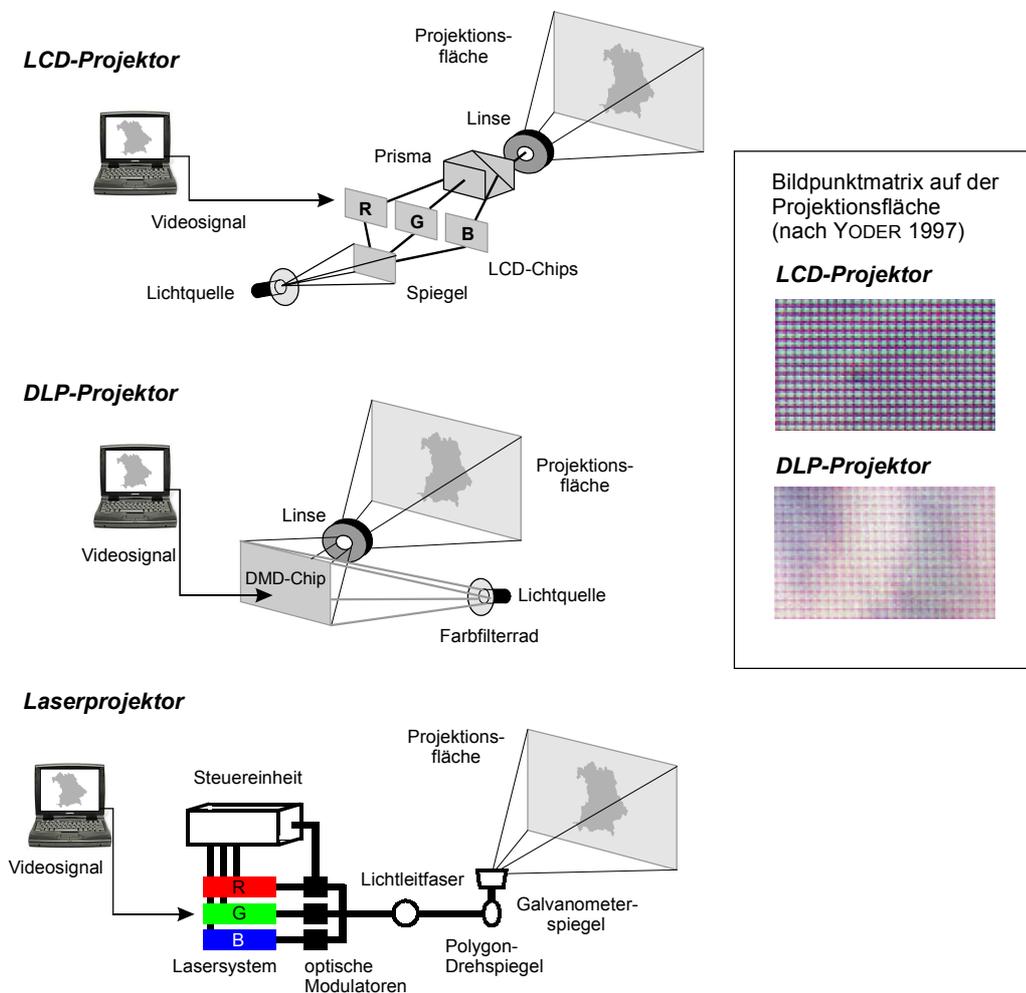


Abbildung 3.16: Projektionstechniken

Der Laserprojektor ist eine neue Entwicklung und realisiert eine weitere leistungsfähige Projektionstechnik. Das aufwändige Bildübertragungssystem entfällt. Der Laser (Gas- oder Festkörperlaser) wird direkt durch das Videosignal gesteuert. Das Signal wird von einem Lasersystem aufgenommen, das aus drei Strahlen für die Grundfarben besteht. Eine Steuereinheit wandelt die Bilddaten in digitale

Form. Die Bildinformation wird in optische Modulatoren überführt und auf die Laserstrahlen übertragen. Die Lichtleitfaser leitet die Strahlen zur Ablenkeinheit. Diese Einheit besteht aus zwei Spiegeln, die für die vertikale und horizontale Ablenkung sorgen. Die Laserstrahlen werden, ähnlich wie bei Kathodenstrahlröhren, über die Projektionsfläche bewegt und steuern die Bildpunkte nacheinander an. Abbildung 3.16 zeigt den Aufbau von Laserprojektoren (NEBEL u. a. 1998). Hinzuweisen ist auf den möglichen Abstand zwischen Projektor und Projektionsfläche, der ohne Helligkeitsverlust des Bildes (ohne Berücksichtigung von Fremdeinstrahlung) bis zu 30 m betragen kann.

3.7.2 Technische Spezifikation

Die Bildpunktgröße ist vom Abstand des Projektors zur Projektionsfläche und von den Eigenschaften der Optik, mit der die Bildgröße auf der Projektionsfläche gesteuert werden kann (Zoom), abhängig. Bei einer Auflösung von 1 024 x 768 Bildpunkten, die von den meisten Geräten unterstützt wird, ergibt sich bei einem Abstand von 2 Metern eine Bildpunktgröße von etwa 1 mm². Diese Konfiguration entspricht etwa der Betrachtung des Bildes beim Plasmabildschirm. Das Bild verfügt dann über eine sichtbare Diagonale von etwa 150 cm. Aus einem Abstand von 5 Metern resultiert die Bildpunktgröße von etwa 2,8 x 2,8 mm², die Länge der sichtbaren Bilddiagonale liegt bei 4 Metern. Die Spezifikationen von Projektoren sind weit gefächert. Sie unterstützen gewöhnlich die Echtfarbengrafik. Auf die Bilddarstellungstechnik haben sie mit Ausnahme der darstellbaren Farben keinen Einfluss, da sie nur die Bildübertragung zur Projektionsfläche steuern. Die Angaben zu Kontrast und Helligkeit sind auch innerhalb einer Präsentationstechnik sehr verschieden. Verfahren und Technik zur Bestimmung optischer und lichttechnischer Parameter von Projektoren stellt GRAMBOW (2000) vor. Die folgenden Angaben geben einen verallgemeinerten Überblick über technische Daten.

- *Größe und Dichte der Bildpunktmatrix:* bis 2 048 x 1 536 Bildpunkte (LCD-Projektor), bis 1 280 x 1 024 Bildpunkte (DLP-Projektor), Standard 1 024 x 768 Bildpunkte, Kompatibilität mit kleineren Auflösungen gewährleistet
- *Lichtstrom (Helligkeit):* Leuchtdichte vom Abstand zur Projektionsfläche und von der Raumhelligkeit (deshalb Angabe der Leuchtdichte unüblich) abhängig, Lichtstrom 800 lm (Lumen) bis 1 500 lm, auch bis 5000 lm bei LCD- und DLP-Projektoren (Tageslichtprojektion),
- *Kontrast:* abhängig vom Abstand zur Projektionsfläche und von der Raumhelligkeit, von 200:1 bis 700:1 bei optimalen Bedingungen und Hochleistungsprojektoren
- *Blickwinkel:* horizontal und vertikal 180°

3.8 Ergonomische Aspekte

Ergonomie ist die Wissenschaft von der Anpassung der Arbeit und der Arbeitsbedingungen an den Menschen. Ergonomische Richtlinien für die Arbeit an Bildschirmen existieren für die Nutzung von Monitoren in einem Zeitraum von täglich mehreren Stunden. Mit der Deutschen Norm (DIN) 66234 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1980 - 1984) liegt ein Standard vor, in dem notwendige Voraussetzungen für die Gestaltung eines Bildschirmarbeitsplatzes geregelt sind. Die Betrachtung kartografischer Darstellungen ist meist von kurzer Dauer, sie erfolgt aber wegen der Detaildarstellung intensiv und konzentriert. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf den Betrachtungsabstand am Bildschirm, die Bildwiederholrate und die Gestaltung des Raumes, in dem projizierte Bilder betrachtet werden.

3.8.1 Bildschirme

Abbildung 3.17 zeigt die zum ergonomischen Umgang mit Bildschirmgeräten wichtigen Kenngrößen. Die Angaben zum Betrachtungsabstand sind jedoch verschieden (vgl. BLAHA 1995, BRANDAUER 1995, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1980-1984, GÖTZ 1998). Die Richtlinien gelten für Bild-

schirme unabhängig von ihrer Technik. Zur Einhaltung dieser Kenngrößen sollte der Monitor in Bezug auf Höhe und Entfernung zum Auge flexibel sein.

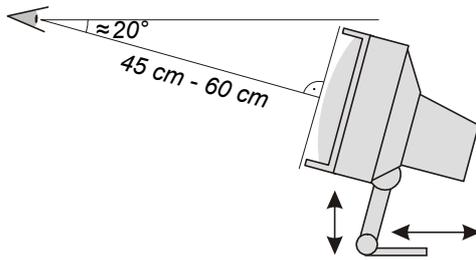


Abbildung 3.17: Abstand und Winkel vom Auge zur Bildschirmoberfläche und die Ausrichtungsmöglichkeiten des Monitors

Bei Verwendung von Tastgeräten reduziert sich der Betrachtungsabstand auf 30 cm (BRANDAUER 1995). Dies ist nicht mit den ergonomischen Eigenschaften solcher Geräte zu begründen, sondern ergibt sich gezwungenermaßen durch die Taststeuerung. Von besonderer Bedeutung ist des Weiteren die Nutzung der Positivdarstellung (dunkel auf hell). Der Hintergrund sollte nicht rot oder grün sein. Nur wenige Farben sollten parallel verwendet werden (BLAHA 1995).

Die DIN 66234 sieht vor, dass ein Betrachtungsabstand von 50 cm bevorzugt werden sollte. Am Bildschirm angezeigte (Schrift-)Zeichen sollen die Größe von 18' nicht unterschreiten. Beim genannten Betrachtungsabstand entspricht dies einer Zeichenhöhe von 2,6 mm. Die Richtlinien sehen eine Bildwiederholrate von 73 Hz vor, um ein flimmerfreies Bild zu simulieren. Bei größeren Monitoren werden aber 75 Hz nicht von allen Betrachern als flimmerfrei empfunden (Die Angaben in DIN 66234 sind hier etwas veraltet.). Als ergonomisch wünschenswert gilt aber in jedem Fall eine Bildwiederholrate von 85 Hz. Der Wert ist primär für die Verwendung von Kathodenstrahlröhren von Bedeutung.

3.8.2 Projizierte Bilder

Für die Betrachtung projizierter Bilder liegen keine genormten Richtlinien vor. Für die ergonomische Handhabung ist das Verhältnis von Länge zu Breite des Raumes, in dem projiziert wird, von Bedeutung. Dieses Verhältnis soll nicht größer als 5:2 sein. Minimaler und maximaler Betrachtungsabstand bewegen sich zwischen 1,5- und 6facher Bildbreite. Er ist vom Abstand des Projektors von der Projektionsfläche abhängig. Eine detailreiche Darstellung erfordert einen optimalen Betrachtungsabstand von 150facher Zeichenhöhe. Für alle Projektionen gilt, dass die Bildunterkante eine Höhe von 1,20 Meter haben sollte und dass sich alle Betrachter im Bereich von 40° beiderseits der Bildmittelachse befinden sollten. Außerdem verbietet sich die direkte Einstrahlung von Fremdlicht auf die Projektionsfläche.

3.9 Überstrahlung

Die Überstrahlung ist ein Effekt, der durch hohes Kontrastverhältnis und starke Lichtaussendung entsteht. Sie ist vergleichbar mit der Überbelichtung in der Fotografie (Irradiation). Die Überstrahlungseffekte treten bei allen Bildschirmen auf, bei denen eine Lumineszenzschicht selbst leuchtet (z. B. Kathodenstrahlröhren) oder das Bild durch eine Hintergrundbeleuchtung sichtbar wird (z. B. Flüssigkristallbildschirme). Der weißes Licht aussendende Bildschirm ist bei normalen Lichtverhältnissen heller als konventionelle Zeichenträger, da die Farben in voller Intensität leuchten. Bei der Positivdarstellung (dunkel auf hell) leuchtet der Hintergrund in jedem Fall heller als die Grafik. Maximaler Kontrast (Schwarz auf Weiß) zwischen Grafik und Hintergrund bewirkt, dass das Bild vom Hintergrund überstrahlt wird. Linien erscheinen schmäler und Flächen kleiner als sie definiert sind. Optische Täuschungen, die von konventionellen Zeichenträgern bekannt sind, z. B. dass helle Flächen auf dunklem Hintergrund größer erscheinen als gleich große dunkle Flächen auf hellem Hintergrund, werden verstärkt.

4 Rastergrafik

Die Visualisierung von Vektor- und Rasterdaten an Bildschirmen unterliegt Beschränkungen in Größe und Auflösung des Monitors, worauf bereits im einleitenden Kapitel hingewiesen wurde. Die Grafik muss durch rechteckige oder quadratische Bildpunkte dargestellt werden. Dafür wird eine Vektor-Raster-Konvertierung (Rasterisierung) benötigt, die auch als Rasterkonvertierung (*scan conversion*) bezeichnet wird. Die Zerlegung der Grafik in Bildpunkte bewirkt, dass das wiedergegebene Bild eine Rastergrafik ist, auch wenn die Visualisierung von Vektordaten erfolgt. Die Rasterkonvertierung ist mit einem Informationsverlust verbunden, der seine Ursache in der Umwandlung eines kontinuierlichen Eingabesignals in ein diskretes Ausgabesignal hat (Aliasing, Kapitel 4.1).

Algorithmen der Rasterkonvertierung werden in Kapitel 4.2 vorgestellt. Die Konvertierung zieht Bildstörungen nach sich, die eingehend gezeigt werden.

Mit Antialiasing können diese Bildstörungen abgemildert werden. Antialiasing-Verfahren werden abschließend behandelt. Sie können entweder in grafischen Bilddarstellungssystemen in der Computer-Hardware realisiert oder bzw. zusätzlich in Grafikprogrammen implementiert sein.

4.1 Aliasing

Das Wort *Aliasing* stammt aus der Signaltheorie und bezeichnet das Auftreten einer Scheinschwingung bei der Abtastung einer hochfrequenten Information mit einer niedrigeren Frequenz entsteht. Eine weitere Form ist das *zeitliche* Aliasing, das durch die Darstellung von Objekten, die sich mit hoher Frequenz zyklisch bewegen, im visuellen System mit niedriger Bildfrequenz entsteht. In beiden Fällen wird eine Schwingung oder Bewegung durch das Abtast- oder Wiedergabesystem vorgetäuscht, die in der Realität nicht vorhanden ist (Abbildung 4.1).

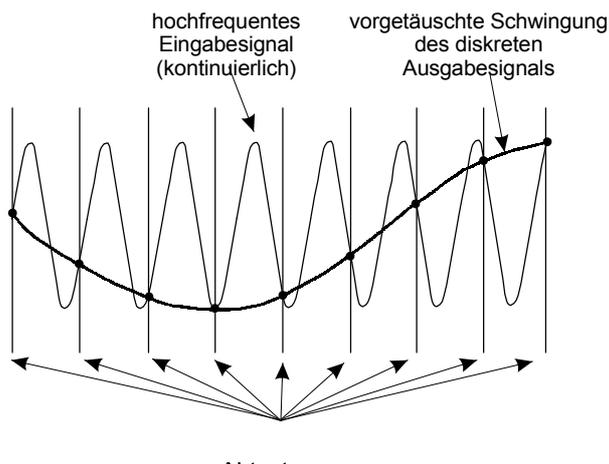


Abbildung 4.1: Aliasingeffekt

Aliasing tritt auch als Folge der Umwandlung eines analogen (kontinuierlichen) Signals in ein digitales (diskretes) Signal auf. Das kontinuierliche Signal wird abgetastet, wodurch das diskrete Ausgabesignal entsteht. Dies geschieht z. B. bei der Digitalisierung einer konventionellen Karte durch Scannen und am Rasterbildschirm. Abbildung 4.1 zeigt, wie der Informationsverlust und die Vortäuschung einer Information beim Ausgabesignal verursacht werden. Der Treppeneffekt ist die sichtbare Auswirkung des Aliasingeffekts als Folge der Zerlegung der Grafik in Bildpunkte bei Rastermonitoren (FOLEY u. a. 1994). Er tritt durch die Rekonstruktion des Bildes durch die Bildpunkte des Monitors (WOLBERG 1990) auf. Der räumliche Abstand der Diskretisierung ist physikalisch an den Abstand der Bildpunkte gebunden, so dass diese Form des Aliasingeffekts sich nicht durch Erhöhung der Abtastfrequenz beheben lässt. Eine Unterdrückung des Effekts kann nur durch Antialiasing (Kapitel 4.5) simuliert werden.

Die Algorithmen zur Rasterkonvertierung setzen die Grafik in die Bildpunktmatrix um. Das Ergebnis wird bei Vektordaten mit der Darstellung der Grafik sofort sichtbar. Rasterdaten liegen durch ihre

Datenerfassung bereits rasterkonvertiert vor und werden für ihre Darstellung am Bildschirm erneut konvertiert.

4.2 Rasterkonvertierung von Vektordaten und Schriften

Die Erzeugung des Ausgabesignals erfordert, dass die Grafik in eine Bildpunktmatrix gerechnet werden muss. Die Überführung aller Grafikbestandteile, die z. B. durch Anfangs- und Endpunkt oder Mittelpunkt und Radius gegeben sind oder Schrift, in eine rechteckige oder quadratische Bildpunktstruktur kann nach verschiedenen Algorithmen erfolgen.

4.2.1 Rasterkonvertierung von Linien und Punkten

Lineare Strukturen in Karten (Linien, quadratische und rechteckige Positionssignaturen usw.) können mit dem inkrementellen Algorithmus oder dem Bresenham-Algorithmus rasterkonvertiert werden. Konvertierte Linien sollen dem Verlauf der idealen Geraden möglichst nahe kommen. Der durch die Bildpunktmatrix des Monitors entstehende Treppeneffekt ist gering zu halten. Bei Liniensteigungen zwischen -1 (315°) und 1 (45°) sollte genau ein Bildpunkt in jeder Bildpunktspalte des Monitors liegen. Bei jeder anderen Steigung sollte jede Zeile mit genau einem Bildpunkt belegt werden. Nicht jeder dieser Eigenschaften können die Rasterkonvertierungsalgorithmen gerecht werden. Im Folgenden werden der inkrementelle Algorithmus und der Bresenham-Algorithmus vorgestellt.

Der auch *Digital Differential Analyzer* genannte *inkrementelle Algorithmus* zur Vektor-Rasterkonvertierung beruht auf der Geradengleichung:

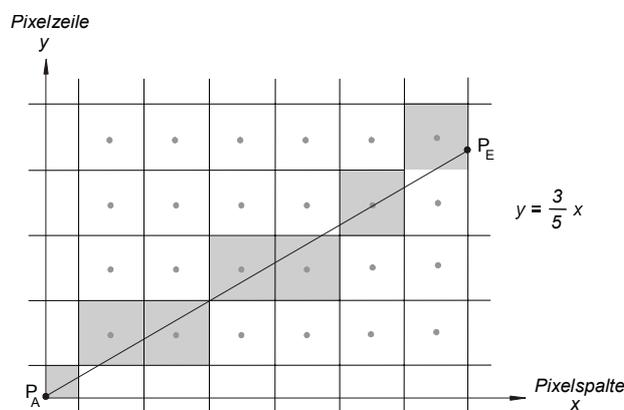
$$y = mx + n \quad (4.2.1)$$

Es werden Linien betrachtet, deren Steigungen zwischen 1 (45°) und -1 (315°) liegen. Bei ihnen erfolgt eine schrittweise Erhöhung der x -Werte (vgl. Abbildung 4.2). Die zugehörigen y -Werte werden aus der bekannten Steigung berechnet und auf ganze Werte gerundet. Die Berechnung erfolgt durch Addition und Multiplikation mit der Steigung m .

Bei Steigungen zwischen -1 und 1 gilt $x_{i+1} = x_i + 1$. Daraus ergibt sich y_{i+1} aus:

$$y_{i+1} = m(x_i + 1) + n = m(x_i + 1) + n = y_i + m \quad (4.2.2)$$

Die Berechnung der Bildpunkte macht nur noch die Addition mit der Steigung m und die Rundung auf ganze Werte erforderlich. Die Rundung von y ist jedoch rechenaufwändig (Abbildung 4.2).



Gerade $P_A - P_E$: ideale Linie
Grau: geschaltete Bildpunkte

Abbildung 4.2: Inkrementeller Algorithmus zur Rasterkonvertierung von Linien

Aus (4.2.1) ist abzuleiten, dass für größere Steigungen als 1 und kleinere Steigungen als -1 mit schrittweiser Erhöhung von x der berechnete und gerundete y -Wert um mehr als 1 bzw. weniger als -1 steigt. Für die Gerade $y = 1,3x$ ergeben sich für die x -Werte

0, 1, 2, 3, 4, 5, und 6

gerundete y -Werte von

0, 1, 3, 4, 5, 7 und 8.

y wird in diesem Fall nicht mit 2 und 6 belegt. Fehlende Bildpunkte im Linienverlauf sind das grafische Ergebnis. Um dieses Problem zu vermeiden, müssen bei Steigungen, die kleiner als -1 und größer als 1 sind, x und y vertauscht werden. y wird schrittweise erhöht und x aus der Steigung berechnet und gerundet.

Ein Problem für längere Linien ist jedoch die aufeinander folgende Summierung der gerundeten, ungenauen Werte der Steigung, die schließlich zur Abweichung des gerundeten Wertes für y_i vom Verlauf der idealen Gerade führt (FOLEY u. a. 1994).

Der *Bresenham-Algorithmus* ist eine effiziente Methode, die darzustellenden Bildpunkte zu ermitteln. Bei ihm werden in jeder Bildspalte die Abstände der idealen Linie zum Mittelpunkt des direkt über ihr (t) und direkt unter ihr (s) liegenden Bildpunktes berechnet. Aus s und t wird die Entscheidungsvariable $d = s - t$ abgeleitet (Abbildung 4.3).

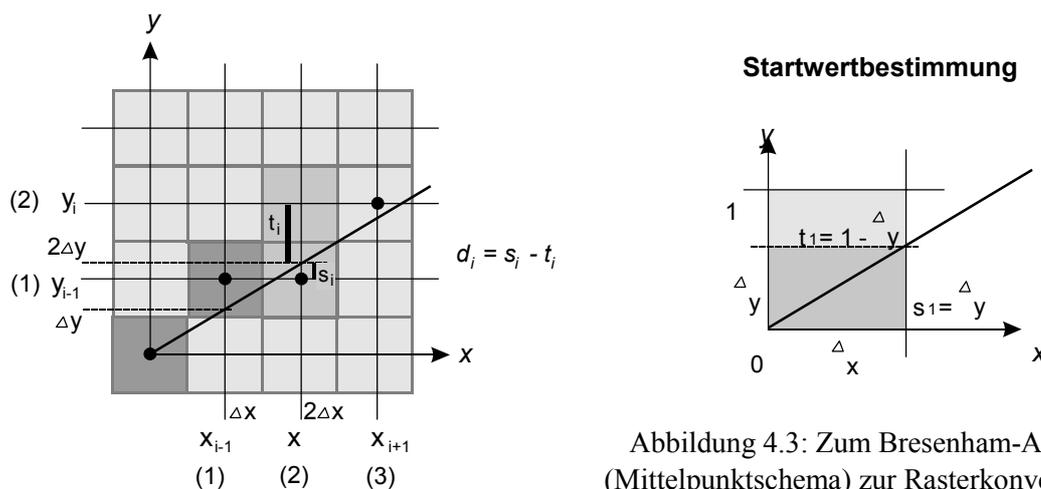


Abbildung 4.3: Zum Bresenham-Algorithmus (Mittelpunktschema) zur Rasterkonvertierung von Linien

Zu Abbildung 4.3: Die grauen Flächen zeigen die Bildpunkte. Das Gitter kennzeichnet die Mittelpunkte der Pixel, die durch schwarze Markierungen hervorgehobenen Gitterpunkte den zu erwartenden Linienverlauf. Die dunkelgrauen Flächen geben die bereits dargestellten Bildpunkte für die schwarz gezeichnete ideale Linie wieder. Für den Bildpunkt der Bildspalte x ist aus $d = s - t$ zu berechnen, ob der obere (bei $d > 0$) oder der untere Bildpunkt (bei $d \leq 0$, beide in mittlerem Grauton) dargestellt wird.

Zuerst muss ein Startwert d_1 bestimmt werden. Nach Abbildung 4.3 *Startwertbestimmung* entspricht s_1 bei $x = 1$ der Steigung Δy . t_1 ist der Abstand vom Schnittpunkt der idealen Gerade bei $x = 1$ bis $y = 1$. Dieser Abstand berechnet sich aus $1 - \Delta y$ bzw. $\Delta x - \Delta y$. Als Startwert ergibt sich:

$$d_1 = s_1 - t_1 = \Delta y - (\Delta x - \Delta y) = 2\Delta y - \Delta x$$

$$d_1 = 2\Delta y - \Delta x \quad (4.2.3)$$

Anschließend wird nach jeder Inkrementierung des x – Wertes bis zum Ende der Linie nach folgendem Vorgehen verfahren:

Für $d_i > 0$ wird bei einer Linie der Steigung $0 < m \leq 1$ der folgende Bildpunkt mit $x_{i+1} = x_i + 1$, $y_{i+1} = y_i + 1$ dargestellt. In die Berechnung von d_i fließt die Steigung der Gerade am Punkt $(x_i + 1; y_i + 1)$ ein. Die Entscheidungsvariable d_{i+1} berechnet sich aus:

$$d_{i+1} = d_i + 2(\Delta y - \Delta x) \quad (4.2.4)$$

Für $d_i \leq 0$ wird bei einer Linie der Steigung $0 < m \leq 1$ der folgende Bildpunkt mit $x_{i+1} = x_i + 1$, $y_{i+1} = y_i$ dargestellt. In die Berechnung von d_i am Punkt $(x_i + 1; y_i)$ fließt Δy ein. Die Entscheidungsvariable d_{i+1} berechnet sich aus:

$$d_{i+1} = d_i + 2\Delta y \quad (4.2.5)$$

Bei $d_i > 0$ wird d_{i+1} stets aus $d_i + 2(\Delta y - \Delta x)$ berechnet, bei $d_i \leq 0$ aus $d_i + 2\Delta y$. Die höhere Effizienz des Bresenham-Algorithmus liegt darin, dass zur Berechnung nur Addition, Subtraktion und Multiplikation mit 2 notwendig sind, die vom Computer schnell ausgeführt werden können. Die genannten Beziehungen gelten bei Vertauschen von x und y oder bzw. und ihrer Vorzeichen für Linien beliebiger Steigung.

Bei der Erzeugung von Punkten wird mindestens der Bildpunkt angezeigt, in dem sich der Punkt befindet. Bei kleinen Punktgrößen werden Rechtecke dargestellt, wenn die Kreisscheibe in zwei Bildpunkte rasterkonvertiert, oder Quadrate, wenn die Kreisscheibe durch einen quadratischen Bildpunkt repräsentiert wird.

4.2.2 Rasterkonvertierung von Kreisen

Stellvertretend für alle gekrümmten linearen Strukturen in Karten werden in diesem Abschnitt Rasterkonvertierungsalgorithmen für Kreise vorgestellt. Wie bei Linien werden inkrementeller und Bresenham-Algorithmus unterschieden. Beide nutzen die Eigenschaft der *Acht-Wege-Symmetrie* des Kreises aus. Diese Symmetrie beschreibt, wie mit der Berechnung und Zeichnung eines Punktes sieben weitere Punkte eines Kreises durch Spiegelung an den 45° -Achsen gezeichnet werden können. Das entspricht der Änderung der Vorzeichen für die x - und bzw. oder y -Koordinate und ihr Vertauschen. Abbildung 4.4 verdeutlicht die Acht-Wege-Symmetrie des Kreises.

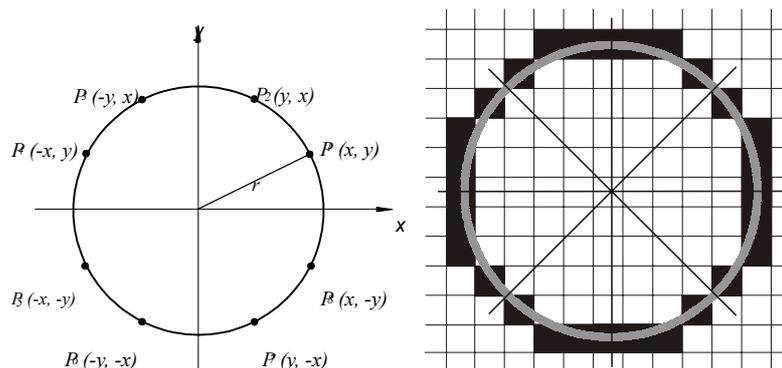


Abbildung 4.4: Acht-Wege-Symmetrie des Kreises

Inkrementelle Algorithmen arbeiten direkt mit der Definition des Kreises.

$$y^2 = r^2 - x^2 \quad (4.2.6)$$

Ein Algorithmus nutzt die Viertlung des Kreises. Bei ihm wird das Kreisviertel gezeichnet, welches im zweiten Quadranten liegt, indem x schrittweise von 0 bis r erhöht und y daraus berechnet und gerundet wird. Die notwendigen Rechenschritte sind jedoch zeitintensiv. Außerdem entstehen bei klei-

nen Radien für x-Werte, die fast so groß sind wie der Kreisradius, durch die Rundung des y-Wertes Unterbrechungen im Kreisbogen. Wegen der Berechnung der Quadrate von r und x , der Subtraktion und der Radizierung arbeitet dieser Algorithmus ineffizient.

Eine Alternative ist die Nutzung der trigonometrischen Beschreibung des Kreises, bei der Lücken im Kreisbogen vermieden werden (FOLEY u. a. 1994). Die Berechnung von Winkelfunktionen ist jedoch ebenfalls aufwändig.

Der *Bresenham-Algorithmus* zur Rasterkonvertierung von Kreisen ermöglicht die bessere Darstellung von Kreisen. Er nutzt dabei weder trigonometrische Funktionen noch Potenzfunktionen. Betrachtet wird der Kreissektor zwischen 90° und 45° . Für x und y kann in diesem Sektor mit positiven Werten gearbeitet werden, wenn der Mittelpunkt des Kreises z. B. in den Ursprung des Koordinatensystems gelegt wird. Die Acht-Wege-Symmetrie (Abbildung 4.4) ermöglicht die Übertragung der rasterkonvertierten Bildpunkte in die anderen Sektoren. Im Kreissektor 90° bis 45° wird dabei die x-Koordinate schrittweise von 0 bis r durchlaufen. Abbildung 4.5 zeigt alle notwendigen Größen, die zur Darstellung des Bresenham-Algorithmus benötigt werden.

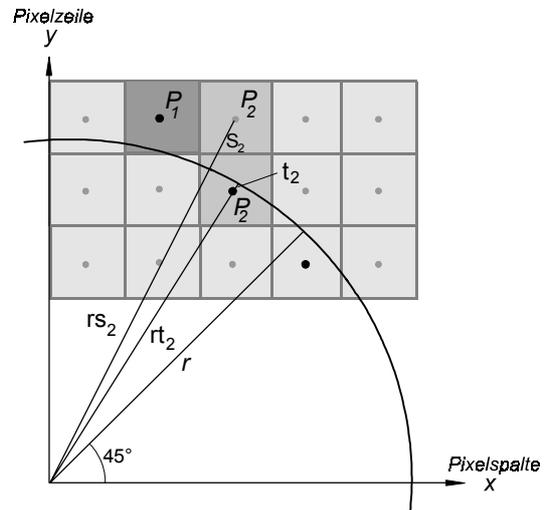


Abbildung 4.5: Zum Bresenham-Kreisalgorithmus (Mittelpunktschema für Kreise)

Die Betrachtung des Kreissektors 90° bis 45° ergibt, dass zur Auswahl der dem idealen Verlauf des Kreisbogens am nächsten liegende Bildpunkt nur in x-Richtung zu inkrementieren oder in x- und negativer y-Richtung zu inkrementieren bzw. zu dekrementieren ist. In Abbildung 4.5 kommen, ausgehend vom bereits dargestellten Pixel P_1 (dunkelgrau), für die Inkrementierung bzw. Dekrementierung die beiden Punkte P_2 in Frage (mittlerer Grauton).

Nach Abbildung 4.5 berechnen sich rs_2^2 und rt_2^2 aus:

$$rs_2^2 = (x_1 + 1)^2 + y_1^2; \quad rt_2^2 = (x_1 + 1)^2 + (y_1 - 1)^2 \quad (x_1: x\text{-Wert des Bildpunktes bei } P_1, \\ y_1: y\text{-Wert des Bildpunktes bei } P_1)$$

In allgemeiner Form lauten die Formeln:

$$rs_i^2 = (x_{i-1} + 1)^2 + y_{i-1}^2; \quad rt_i^2 = (x_{i-1} + 1)^2 + (y_{i-1} - 1)^2 \quad (4.2.7)$$

Die Entscheidungsvariable d_i wird aus

$$d_i = d(s_i) + d(t_i) \quad (4.2.8)$$

berechnet, wobei s und t die tangentialen Abstände der Punkte P (in Abbildung 4.5 oberer und unterer Punkt P_2) zum idealen Kreisbogen sind. Auf die Radizierung zur Ermittlung von rs_2 und rt_2 in (4.2.6) kann verzichtet werden, da von d nur das Vorzeichen interessiert. Nach (4.2.7) und (4.2.8) gilt für d_i :

$$d_i = (x_{i-1} + 1)^2 + y_{i-1}^2; + (x_{i-1} + 1)^2 + (y_{i-1} - 1)^2 \quad (4.2.9)$$

Als Startwert wird bei $x = 0$ und $y = r$ nach (4.2.9)

$$d_1 = 3 - 2r \quad (4.2.10)$$

ermittelt. Danach wird für $d_i > 0$ nur x inkrementiert ($x_{i+1} = x_i + 1, y_{i+1} = y_i$). Als Folgewert für die Entscheidungsvariable d wird nach (4.2.9)

$$d_{i+1} = d_i + 4x_i + 6 \quad (4.2.11)$$

berechnet. Für $d_i \leq 0$ wird x inkrementiert und y dekrementiert ($x_{i+1} = x_i + 1$, $y_{i+1} = y_i - 1$). Als Folgewert für die Entscheidungsvariable d ergibt sich dann:

$$d_{i+1} = d_i + 4(x_i - y_i) + 10. \quad (4.2.12)$$

4.2.3 Erzeugung breiter grafischer Triviale

Die Darstellung von Trivialen, deren Stärke in mehr als einen Bildpunkt rasterkonvertiert, erfordert eine Verbreiterung der Kernlinie (Achse). Beim Verfahren der Pixel- oder Bildpunktreplication werden die zusätzlichen Bildpunkte um die Kernlinie bei Liniensteigungen zwischen -1 und $+1$ durch Spaltenreplication erzeugt. Bei anderen Steigungen erfolgt eine Zeilenreplication (Abbildung 4.6a). Bei Kreisen und anderen gekrümmten Linien werden in Abhängigkeit von der Steigung beide Verfahren parallel angewandt. Die Linienenden sind dabei immer vertikal oder horizontal, bei verbundenen Geradenstücken verschiedener Richtung entsteht der Effekt fehlender Bildpunkte. Bei Steigungen um -1 und $+1$ werden Rastergrafikbestandteile geringer Intensität erzeugt.

Ein anderes Verfahren ist die Anwendung des *bewegten Stifts*. Dabei wird um jeden Bildpunkt der Kernlinie ein rechteckiger Pixelbereich erzeugt, so dass die Linie an ihren Enden verlängert bzw. verstärkt wird (siehe Abbildung 4.6b). Der Effekt scheinbar fehlender Bildpunkte wird vermieden. Mit dem bewegten Stift gezeichnete Linien erscheinen bei Steigungen um -1 und $+1$ am breitesten und bei waagerechtem und senkrechtem Verlauf am dünnsten.

Ein weiteres Verfahren ist das Füllen eines Gebietes. Dabei werden breite Triviale als Polygone aufgefasst und unter Anwendung eines Füllalgorithmus gefüllt (Abschnitt 4.2.5).

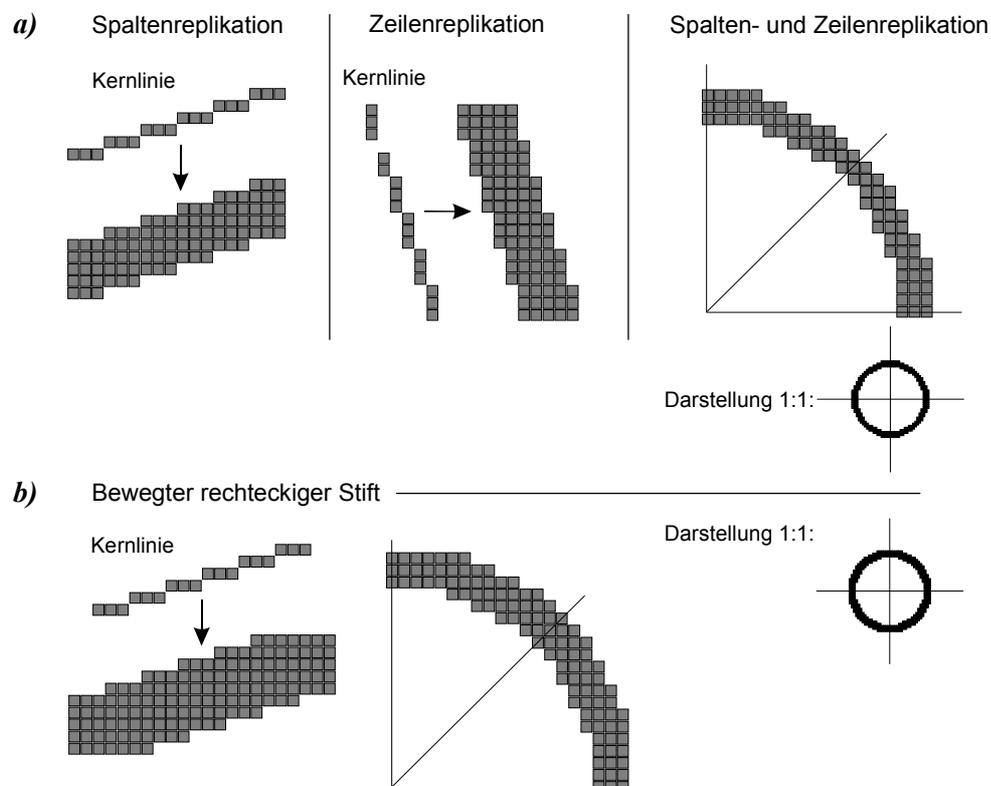


Abbildung 4.6: Bildpunktreplication und bewegter Stift zur Erzeugung breiter grafischer Triviale (nach FOLEY u. a. 1994)

4.2.4 Rasterkonvertierung von Schrift

Zur Rasterkonvertierung von Schrift gibt es zwei Verfahren. Zum einen kann jeder einzelne Buchstabe eines Zeichensatzes (Font) vektoriell durch seine Konturen (Polygone) gespeichert werden, zum anderen kann jedes Zeichen eines Fonts durch eine kleine Bitmap beschrieben werden. Im ersten Fall erfolgt eine Rasterkonvertierung der einzelnen Buchstaben nach den bereits vorgestellten Verfahren. Im zweiten Fall liegen die Buchstaben als rechteckige Bilder in einer Rasterstruktur (Zeilen und Spalten) vor und werden aus dem Schriftfont in den Bildwiederholpeicher kopiert und dargestellt (Abbildung 4.7).

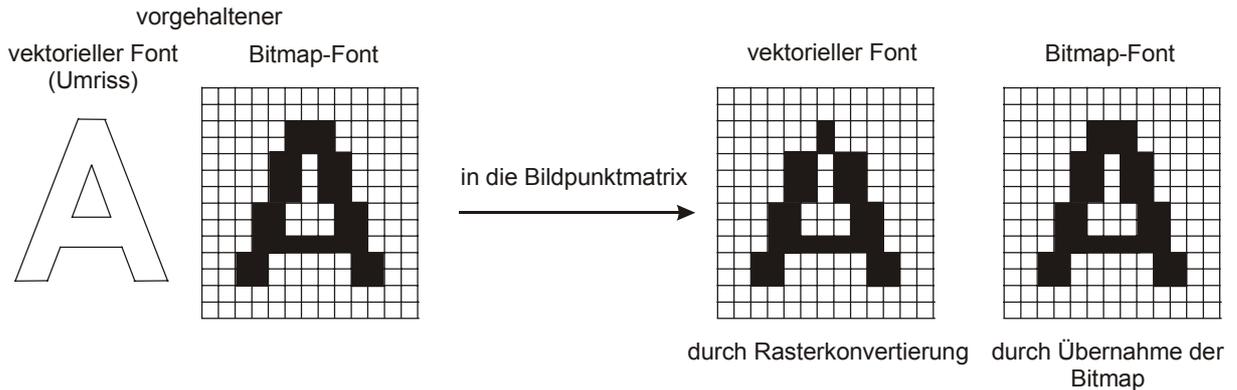


Abbildung 4.7: Rasterkonvertierung von vektoriell und als Bitmap vorgehaltener Schrift

Auf vektoriell gespeicherte Schriftfonts lassen sich Transformationen wie *kursiv* und *fett* anwenden. Der Speicherbedarf solcher Fonts ist aber größer (FELLNER 1992). Die folgenden Beispiele zeigen rasterkonvertierte Schriften verschiedener vektorieller Fonts (gleicher und unterschiedlicher Zeichenbreite), Schriftgrößen und Stile. Ein Unterschied zu Bitmap-Schriften ist nicht gegeben. Bei Bitmap-Fonts ist jedoch die Grafikdeformation geringer (vgl. Abschnitt 4.4.5).

Bei der Rasterkonvertierung von Schrift fällt auf, dass bei größer werdendem Schriftgrad zwar die Größe der Buchstaben, deren Strichstärke aber nicht in gleichem Maße steigt. In folgendem Beispiel ist die Stärke bei allen Schriften normalen Schnitts und die der großen Schriften fetten Schnitts gleich. Bei kleinen Schriften entspricht die Stärke des fetten Schnitts sogar der des normalen. Die Strichstärke steigt sprunghaft, wenn der Schriftgrad eine bestimmte Schwelle erreicht.

Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg
Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg
Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg	Neubiberg
<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>
<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>
<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>	<i>Neubiberg</i>

Die Grade, ab denen sich die Strichstärke ändert, sind von Typ und Bildpunktgröße des Bildschirms, von der Auflösung und von den Grafikprogrammen, mit denen visualisiert wird, abhängig. Für die Schwellen kann kein allgemein gültiger Wert angegeben werden. Zum Beispiel ergeben sich bei einer Lochmasken-Kathodenstrahlröhre mit der Bildpunktgröße von 0,3 x 0,3 mm² und 1 280 x 1 024 Bildpunkten für den Font *Arial* bei normalem Schriftschnitt Schwellen bei den Schriftgraden 2 mm (Schwelle 1 Bildpunkt zu 2 Bildpunkten) und 2,3 mm (2 zu 3), für fetten Schnitt 1,2 mm (1 zu 2), 2 mm (2 zu 3) und 3 mm (3 zu 4). Bei einem Flüssigkristallbildschirm mit der Bildpunktgröße 0,28 x 0,28 mm² und 1 024 x 768 Bildpunkten ergeben sich 3,8 mm (1 zu 2) und 6,5 mm (2 zu 3) bei norma-

lem Schnitt und 2 mm (1 zu 2), 3,8 mm (2 zu 3) und 5,2 mm (3 zu 4) bei fettem Schnitt. Allen Werten liegt eine Darstellungsgröße von 100 % zu Grunde. Zur Untersuchung wurde CorelDraw verwendet.

4.2.5 Füllen von Polygonen

Das Füllen von Polygonen ist in Karten für die Wiedergabe von Objektflächen (Flächenfarben) und die Gestaltung von Flächensignaturen (Musterfüllungen) bedeutsam.

Das Füllen von Polygonen mit einer Farbe erfolgt nach der Entscheidung, welche Bildpunkte einer Rasterzeile ein Füllattribut erhalten. Betrachtet man zunächst ein Rechteck als konvexes Polygon, so werden alle Bildpunkte der Rasterzeile innerhalb des Rechtecks gefüllt. Wenn ein solcher Bildpunkt mit dem Füllattribut belegt wurde, so gilt dieses bei einheitlichen Füllfarben auch für den benachbarten Bildpunkt. Auf Grund dieses Prinzips können mehrere Pixel in einem Prozess gefüllt werden. Ähnlich verhalten sich die Rasterzeilen. Wenn ein Bildpunkt in einer Rasterzeile mit einem Füllattribut belegt ist, so wird dieses bei einheitlichen Füllfarben auch dem darunter gelegenen Bildpunkt zugewiesen. Ein effizienter Füllalgorithmus nutzt diese als *räumliche Kohärenz* bezeichnete Eigenschaft.

Das Vorgehen zur Füllung von konvexen Polygonen ist nicht allgemein auf Flächen übertragbar, da eine Rasterzeile oder -spalte ein nichtkonvexes Polygon mehrfach schneidet. Abbildung 4.8 zeigt die Kontur einer solchen Fläche. Die Rasterzeile 16 schneidet das Polygon in den Punkten *a*, *b*, *c* und *d* bzw. den Spalten 11, 17, 25 und 30. Die Schnittpunkte werden nach steigender x-Koordinate, das heißt von links nach rechts, sortiert. Die Füllung der Bildpunkte zwischen zwei Schnittpunkten wird vorgenommen, indem die Regel der *ungleichen Parität* angewandt wird, die im Füllalgorithmus implementiert ist. Die Parität ist am linken Rand der Bildpunktmatrix gerade und wird mit dem ersten Schnittpunkt ungerade usw. Dieses Vorgehen berücksichtigt auch Binnenabgrenzungen in Polygonen (FOLEY u. a. 1994).

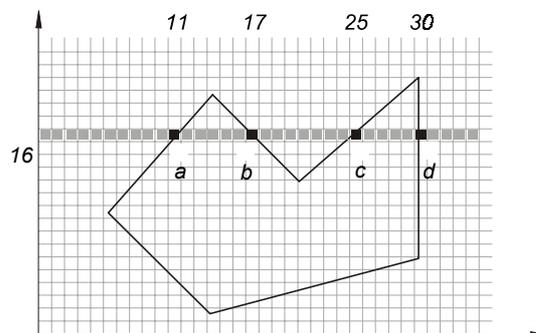


Abbildung 4.8: Zum Füllen von Polygonen
(nach Foley u. a. 1994)

In kartografischen Darstellungen werden sowohl transparente als auch opake Füllmuster, z. B. Flächensignaturen und Schraffuren, verwendet. Die Musterfüllung eines Polygons kann durch eine weitere Rasterung oder ohne Rasterung durch Bitmaps realisiert werden. Bei der Musterfüllung durch Rasterung wird der Musterursprung an einem Knoten des Polygons verankert. Werden gefüllte Polygone verschoben, bleibt die Lage des Musters unverändert. Die zweite Möglichkeit ist die Wahl eines festen Ankerpunktes, der meist im Ursprung des Bildschirms liegt. Die Bildpunkte eines Polygons sind dann mit dem Muster verknüpft. Die Lage des Musters ist fest. Bei Lageänderung des Polygons verändert sich auch die Lage des Musters zum Polygon. Abbildung 4.9 verdeutlicht die Verfahren (FOLEY u. a. 1994).

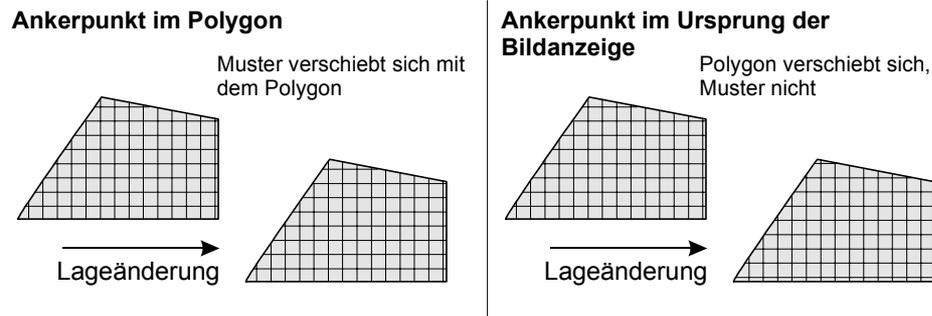


Abbildung 4.9: Füllung mit Mustern durch Rasterung

Die Füllung mit Mustern ohne erneute Rasterung findet vor allem für Grafikbestandteile Anwendung, die mehrfach benötigt werden, z. B. Zeichen eines Schriftfonts. In diesem Fall wird das Polygon zunächst einfarbig mit der Hintergrundfarbe des Musters gefüllt und anschließend das kleinste Rechteck berechnet, welches das ganze Polygon einschließt. In ein zweites Rechteck wird das Muster hineingeschrieben oder ein vorliegendes Bitmap-Bild hineinkopiert. Durch UND- und ODER-Verknüpfungen werden beide Bestandteile kombiniert (siehe Abbildung 4.10).

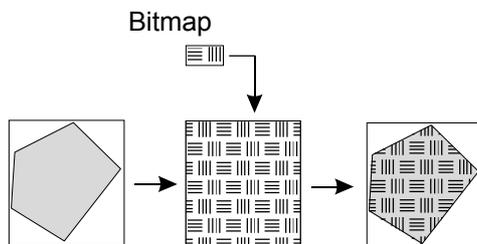


Abbildung 4.10: Füllung mit Mustern ohne zweite Rasterung

4.3 Rasterkonvertierung von Rasterdaten

Kartografische Anwendungen für Rasterdaten wurden bereits genannt (Tabelle 2.7). Rasterdaten liegen in einer Pixelmatrix rasterkonvertiert vor. Sie werden erneut rasterkonvertiert, wenn sie am Bildschirm dargestellt werden.

Für die Darlegung der Rasterkonvertierung ist es notwendig, die Pixelgröße von Rasterdaten (Rasterbildern) näher zu betrachten. Die Größe eines Pixels ist von der Pixeldichte (Auflösung) bei der Datenerfassung abhängig. Die Pixeldichte wird gewöhnlich in dpi (*dots per inch*) angegeben.

Länge und Breite des Rasterbildes sind bei der Darstellung am Bildschirm Funktion der Pixeldichte bei der Datenerfassung. Die Basis für die Angabe der Darstellungsgröße von Rasterdaten am Bildschirm ist der Bildpunkt, dem bei der Größe 100 % (1:1) ein Pixel des Rasterbildes zugeordnet wird. Bei dieser Konstellation ist die Lesbarkeit des Rasterbildes am besten. Eine gute Lesbarkeit wird also bereits bei niedrigen Pixeldichten des Rasterbildes erreicht, z. B. bei der Auflösung von 100 dpi (etwa 39 p / cm). Bei dieser Pixeldichte sind die Pixel des Bildes 0,254 mm x 0,254 mm (0,01 in x 0,01 in) groß. Diese Größe entspricht etwa heute üblichen Bildpunktgrößen.

Rasterdaten werden gewöhnlich mit einer höheren Auflösung als die des Bildschirms erfasst. Eine höhere Pixeldichte führt unmittelbar zur Vergrößerung von Länge und Breite des am Bildschirm angezeigten Bildes. Wenn sie 200 dpi (79 p / cm) beträgt, ist die Größe eines Pixels 0,127 mm x 0,127 mm. Länge und Breite des Bildes werden verdoppelt, wenn ein mit dieser Auflösung erfasstes Bild am Bildschirm in der Darstellungsgröße 100 % dargestellt wird. Die höhere Auflösung wird erst bei der vergrößerten Darstellung des Bildes vorteilhaft wirksam (vgl. Abschnitt 4.7.3). Abbildung 4.11 zeigt das Prinzip der Darstellung von Rasterbildern. Es ist mit der Vergrößerung der Pixel auf die Bildpunktgröße vergleichbar.

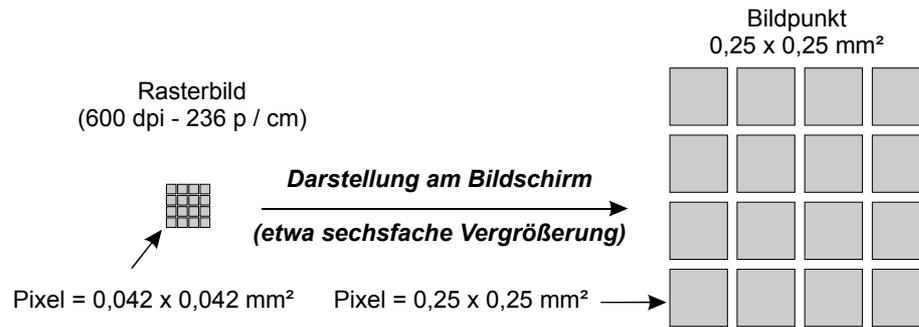


Abbildung 4.11: Vergrößerung von Länge und Breite eines Rasterbildes bei der Darstellung am Bildschirm am Beispiel eines mit der Auflösung 600 dpi erfassten Bildes

Die Größe von Länge und Breite des Rasterbildes variiert durch die Bindung an die Bildpunktgröße auch bei verschiedenen Auflösungen.

4.4 Bildstörung

4.4.1 Überblick

Die Bildstörung an Monitoren resultiert aus der Zusammensetzung des Bildes aus sichtbaren, meist quadratischen Bildpunkten, die auch von den Algorithmen zur Erzeugung von Grafik nicht überwunden werden kann. Dabei spielt die Bildschirmtechnik kaum eine Rolle, da sich die Bildpunktgrößen zur Zeit nur unwesentlich voneinander unterscheiden. Visuell wird die Grafikdeformation durch den Treppeneffekt deutlich. Er ist an nicht horizontal und vertikal verlaufenden Linien, an gekrümmten Linien und an der Schrift besonders auffällig und störend. Im Folgenden werden Beispiele gezeigt, an denen die Bildstörung visuell deutlich wird. Sie äußert sich vor allem beim Vergleich eines Details einer Grundrissdarstellung einer gedruckten Karte und des gleichen Ausschnitts, der rasterkonvertiert am Bildschirm visualisiert wird (Abbildung 4.12a).

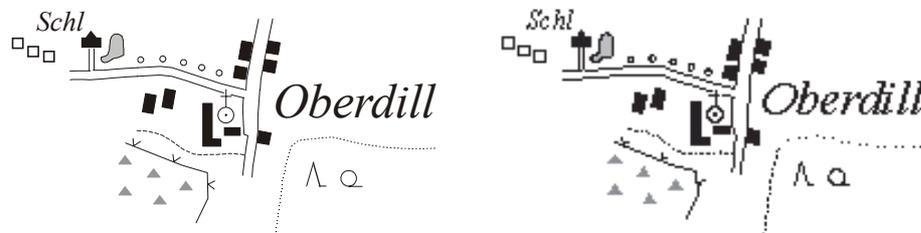


Abbildung 4.12a : Grundrissdarstellungen einer konventionellen Karte (links) und einer rasterkonvertierten konventionellen Karte (rechts) mit einer Auflösung von etwa 39 p / cm (100 dpi, vergrößert)

In Abbildung 4.12b werden Details der beiden Kartenausschnitte gezeigt und beschrieben. Die Deformation der Grafik wird auch hier deutlich.



Rechteckige Grafikbestandteile sind ihrer Form nach als Rechtecke erkennbar, wenn sie parallel zur Bildpunktmatrix liegen. Gleich große rechteckige Grafikbestandteile verändern aber ihre Form in Abhängigkeit von ihrer Lage zur Bildpunktmatrix.



Nicht in die Bildpunktmatrix eingepasste Grafikbestandteile konvertieren zu nicht lesbaren Gebilden. Ihre ursprüngliche Ausrichtung kann dabei verloren gehen.

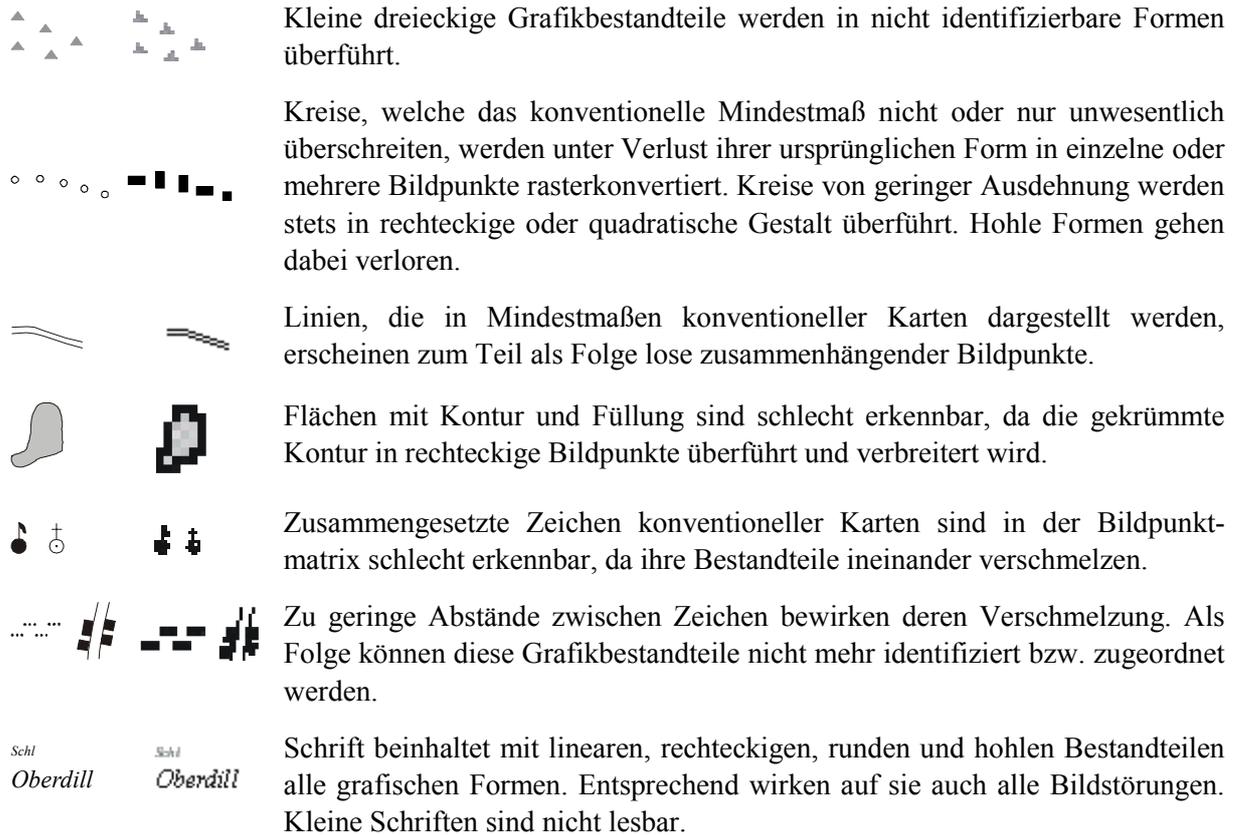


Abbildung 4.12b: Details einer kartografischen Darstellung
(links einer gedruckten Karte, rechts einer Darstellung am Bildschirm)

4.4.2 Bildstörung bei Strichgrafik

Linien in der Bildpunktmatrix erscheinen in Abhängigkeit von ihrer Richtung in variablen Intensitäten, die durch verschiedene Ausdehnungen der Bildpunkte in Linienrichtung verursacht werden (vgl. BROWN 1993, DITZ 1997). Bei Liniensteigungen von 1 und -1 , das entspricht Richtungen von 45° , 135° , 225° und 315° , wirkt die Linienintensität am geringsten, da die gleiche Anzahl von Bildpunkten die $\sqrt{2}$ -fache Strecke einer Linie mit den Richtungen 0° oder 90° bildet. Abbildung 4.13 verdeutlicht diesen Effekt für Linien mit Steigungen von 0 (0°) bis 1 (45°).

45° $\frac{\sqrt{2}^*}{2}$	40° 1,188 0,842	35° 1,153 0,867	30° 1,118 0,894	25° 1,086 0,921
20° 1,057 0,946	15° 1,033 1	10° 1,009 1	5° 1 1	0° 1 1
* Ausdehnung eines Bildpunktes in Linienrichtung, **Intensität der Linie unter der Annahme, dass bei der Linienrichtung 0° die Intensität 1 ist				

Abbildung 4.13: Veränderung der Ausdehnung des Bildpunktes in Linienrichtung und der Intensität bei Linien mit Richtungen von 45° bis 0°

Gleichstarke Linien, denen z. B. in einem Grafikprogramm eine bestimmte Linienstärke zugewiesen wurde, müssen in der Bildschirmvisualisierung nicht in gleicher Stärke wiedergegeben werden. Ihre Breite ist an die Ausdehnung der Bildpunkte gebunden. Zum Beispiel kann eine Linie der definierten Linienstärke von 0,2 mm sowohl in einen Bildpunkt als auch in zwei Bildpunkte überführt werden. Beides ist mit einer Verbreiterung verbunden. Bei einer Bildpunktgröße von $0,3 \times 0,3 \text{ mm}^2$ wird eine solche Linie in eine Breite von 0,3 mm oder 0,6 mm überführt. Abbildung 4.14 zeigt ein solches Beispiel. Unter a) sind in Bildpunkte konvertierte Linien zu sehen, deren Linienstärken und Abstände einheitlich sein sollten. Abbildung 4.14b) zeigt eine die Problematik verdeutlichende Vergrößerung.

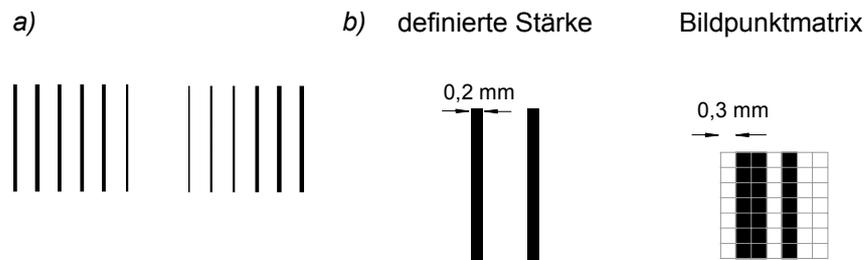


Abbildung 4.14: Bildstörung auf Grund der Überführung von Linien in die Bildpunktmatrix

Die Bildstörung durch den Treppeneffekt tritt bei gekrümmten Linien besonders deutlich hervor. Verschiedene Lagen gleich großer Kreise in der Bildpunktmatrix ziehen ungleichmäßige Linienstärken nach sich. Aus Kreisbögen, deren Konturen nur durch einen Bildpunkt repräsentiert werden, ergeben sich oft verschiedenste rasterkonvertierte Gestalten (Abbildung 4.15). Die Intensität kann ebenfalls variieren (vgl. vor allem Abbildung 4.15c). Der rasterkonvertierte Kreis kann aber auch eine symmetrische Gestalt zeigen. In Abbildung 4.15a) und b) ähnelt seine Gestalt sowohl einem Kreis als auch einem Quadrat. In Abbildung 4.15d) ist er rechteckähnlich. Ein Kreis der gleichen Größe und Stärke der Kontur kann bei bestimmten Lagen in der Bildpunktmatrix aber auch unsymmetrische Gestalten annehmen (Abbildung 4.15c). Probleme der Erkennbarkeit der Kreisgestalt hat dies jedoch nur für kleine Kreise. Bei Vergrößerung ist die Form des Kreises besser erkennbar (Abbildung 4.15e), bei Vergrößerung des Kreises und Verbreiterung der Linie wiederum schlechter (Abbildung 4.15f).

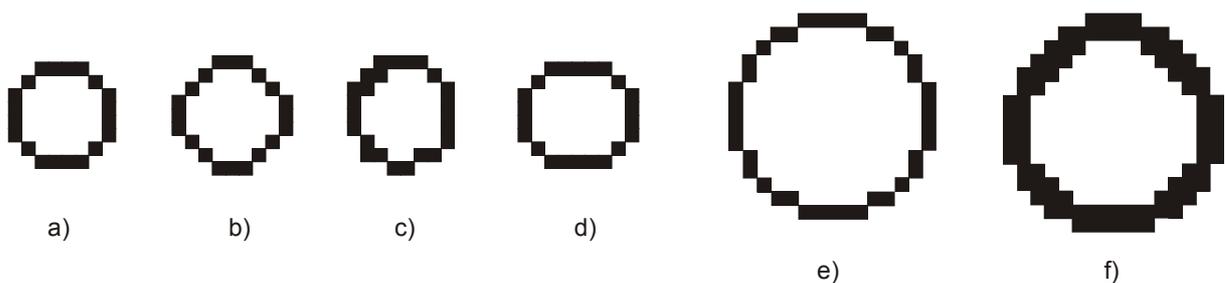


Abbildung 4.15: Bildstörung bei Kreisen

4.4.3 Bildstörung bei Punkten

Als Punkte werden Kreisscheiben aufgefasst, die ihrer Ausdehnung nach kleiner als ein Bildpunkt sind. Solche Kreisscheiben können bei Konvertierung in die Bildpunktmatrix in mehrere Bildpunkte überführt werden. Bei zu kleinem Abstand zwischen den Punkten können Verschmelzungen auftreten. Abbildung 4.16a) zeigt dafür Beispiele. Beim oberen Punktpaar ist der Abstand zu klein, um in getrennte Bildpunkte überführt zu werden. In der Bildpunktmatrix entsteht eine lineare Struktur. Abbildung 4.16b) zeigt eine Formation von fünf Punkten mit Abständen von 0,25 mm und 0,3 mm. Bereits bei kleinen Änderungen des Abstands entstehen andere Formen.

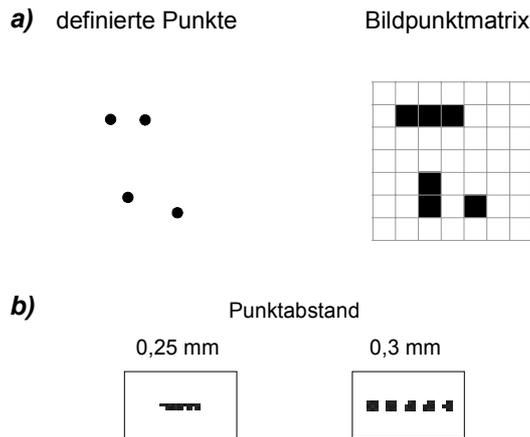


Abbildung 4.16: Bildstörung bei Punkten

4.4.4 Bildstörung bei Vergrößerung

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Grafik am Bildschirm eine Rastergrafik ist. Vektordaten werden unabhängig vom Datenformat in die Rastergrafik konvertiert. Bei der Vergrößerung der Grafik tritt der Treppeneffekt in Relation zur Breite der Grafikbestandteile etwas in den Hintergrund, da Linien bei Vergrößerung gewöhnlich mit verbreitert werden (vgl. Abschnitt 4.7.2). Am Rand vergrößerter Grafik tritt der Treppeneffekt jedoch ebenso als Bildstörung auf wie bei nicht vergrößerter Grafik. Abbildung 4.17 zeigt dafür Beispiele.

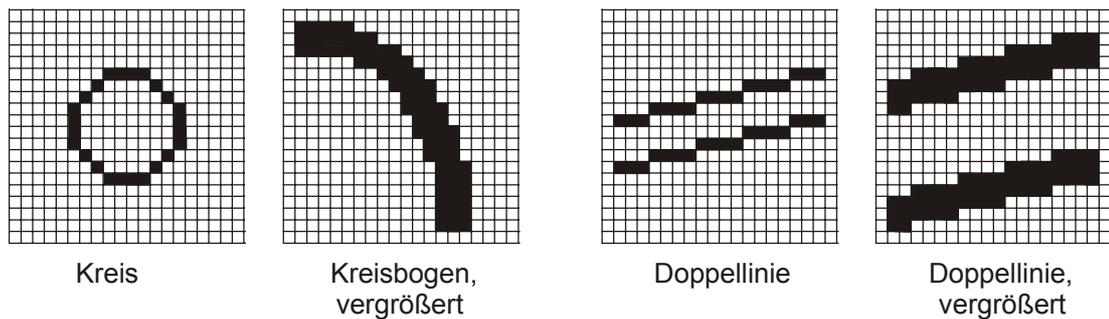


Abbildung 4.17: Bildstörung bei der Vergrößerung der Grafik

4.4.5 Bildstörung bei Schrift

Wie andere Grafikbestandteile unterliegt auch die Schrift der Bildstörung. Der Grad der Störung ist sowohl vom Font als auch von der Verwendung von vektorieller Schrift oder Bitmap-Schrift abhängig. Die Bildstörung ist bei Serifenschriften größer als bei serifenloser Schrift und wirkt bei vektoriellen Schriften stärker als bei Bitmap-Schriften. Bei Bitmap-Fonts ist die Lage der Buchstaben in der Bildpunktmatrix vordefiniert (Abbildung 4.18 *Geneva*⁷). Vektorielle Schriften werden im Zuge ihrer Verwendung rasterkonvertiert. In Abbildung 4.18 zeigen die Beispiele zu den Fonts *Arial* und *Times New Roman* Gruppierungen von Schriften, die jeweils um 0,1 Bildpunkt verschoben wurden. Zu beachten sind insbesondere das teilweise Verschmelzen von Buchstaben, die vor allem bei kleiner Zeichenbreite zur schlechten Lesbarkeit führt. Außerdem ändert sich der Buchstabenabstand in Abhängigkeit von der Lage in der Bildpunktmatrix.

⁷ „Geneva“ ist ein Bitmap-Font, der für die Visualisierung am Bildschirm entwickelt wurde (vgl. Abschnitt 5.2.10)



Abbildung 4.18: Bildstörung bei Schrift, Veränderung der Lage in der Bildpunktmatrix bei vektorieller Schrift und Konstanz der Lage in der Bildpunktmatrix bei Bitmap-Fonts

4.4.6 Bildstörung bei Rasterdaten

Rasterdaten unterliegen bei ihrer Darstellung am Bildschirm prinzipiell der gleichen Bildstörung wie Vektordaten. Bei der Datenerfassung kann die Bildstörung jedoch mit Erhöhung der Pixeldichte und anschließender Verkleinerung des Bildes verringert werden.

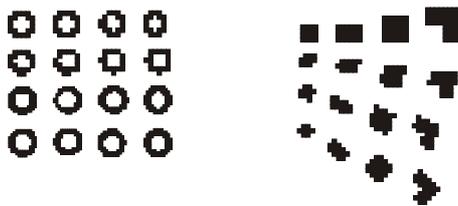


Abbildung 4.19: Kreissignaturen in verschiedenen Pixeldichten und Rechteckzeichen in unterschiedlicher Lage in der Bildpunktmatrix (aus SPIESS 1996a)

SPIESS (1996a) betrachtet Kreissignaturen in Rasterdaten verschiedener Pixeldichten. Zur Verdeutlichung des Lesbarkeitsgrades reduziert er die Beispiele verschiedener Pixeldichten (obere Zeilen: 760 l/cm - 300 dpi, untere Zeilen: 1520 l/cm - 600dpi) auf die gleiche Ausdehnung. SPIESS (1996a) zeigt außerdem die Veränderung von Rechteckzeichen in verschiedenen Lagen in der Bildpunktmatrix (Abbildung 4.19).

4.5 Allgemeine Bildverbesserung durch Antialiasing

Bildverbessernde Maßnahmen fördern die Lesbarkeit rasterkonvertierter Grafik am Bildschirm. In diesem Kapitel werden Maßnahmen vorgestellt, welche auf die gesamte Bildanzeige ohne besondere Berücksichtigung einzelner Grafikelemente angewandt werden. NEUDECK (2000) bezeichnet diese Möglichkeiten als *allgemeine Bildverbesserung*. Im Rahmen der Kartengestaltung (Kapitel 5) wird die *spezielle Bildverbesserung* behandelt.

Die allgemeine Bildverbesserung erfolgt durch Antialiasing. Dies ist eine Methode zur Verbesserung der Lesbarkeit gekrümmter Linien, vor allem nicht horizontal oder vertikal verlaufender Geraden und der Schrift. Der Begriff *Antialiasing* verdeutlicht die Arbeitsweise der Bildverbesserung. Der im Kapitel 4.1 beschriebene Aliasingeffekt, der die sichtbare Bildstörung verursacht, wird durch die Erzeugung von Unschärfe verringert. Für Antialiasing werden verschiedene Techniken verwendet. Die folgende Auswahl von Antialiasing-Verfahren basiert auf den Ausführungen der gängigen Literatur zur Computergrafik. Diese und weitere Techniken werden in WOLBERG (1990) und FOLEY u. a. (1994) erläutert.

4.5.1 Bereichsmittelwerte

Die Bereichsmittelwertbildung wird unter anderem von FOLEY u. a. (1994) beschrieben. Sie umfasst zwei Antialiasingtechniken, die Bereichsmittelwerte mit Gewichtung und die ohne Gewichtung.

Bei der Bereichsmittelwertbildung ohne Gewichtung werden alle Bildpunkte, die von der idealen Linie überdeckt werden, berechnet und entsprechend der von der gerasterten Linie überlappten Fläche beleuchtet. Dabei werden an beiden Seiten der Grafikbestandteile Bildpunkte mit verschiedenen Grau- oder Farbwerten belegt. Dieses Verfahren ermöglicht den allmählichen Übergang von den Bildpunkten der Linie zum umgebenden Hintergrund. Antialiasing durch Bereichsmittelwerte ohne Gewichtung hat jedoch die Eigenschaft, dass die Intensität des Bildpunktes bei gleicher Überlappung gleich ist, unabhängig vom Abstand des Mittelpunktes des Pixels zu dem Bereich, der von der idealen Linie bedeckt wird. Ein kleiner Bereich in der Ecke des Bildpunktes hat auf die Intensitätsbestimmung den gleichen Einfluss wie ein gleich großer Bereich, der dem Mittelpunkt des Bildpunktes nahe liegt. Visuell ist dies jedoch kaum störend.

Der bei der Bereichsmittelwertbildung ohne Gewichtung genannte Mangel wird beim Verfahren der Bereichsmittelwerte mit Gewichtung behoben. Der Abstand des von der idealen Linie bedeckten Bereichs zum Mittelpunkt des Pixels wird bei der Berechnung der Beleuchtung berücksichtigt. Der Bereich näher am Mittelpunkt trägt mehr zur Intensitätsbestimmung bei. Außerdem werden Bildpunkte einbezogen, welche mit der idealen Linie nicht überlappen.

4.5.2 Erhöhung der Auflösung

Die Erhöhung der Auflösung führt auch zu einer Verringerung der Bildstörung. Sie ist physikalisch jedoch nicht möglich und muss simuliert werden. Diese Simulation geschieht durch Erhöhung der Abtastfrequenz (vgl. Kapitel 4.1). Dabei erfolgt die Rasterkonvertierung nicht direkt in die Bildpunktmatrix, sondern in ein Gitter mit höherer Auflösung. Bei einer Bildschirmauflösung von 1 024 x 768 Bildpunkten kann die Zahl der Bildpunkte z. B. auf den neunfachen Wert von 3 072 x 2 304 erhöht werden. Für diesen Fall bestimmen neun Pixel den Farbwert eines Bildpunktes, der gemittelt wird (WOLBERG 1990). Das in Abbildung 4.20 gezeigte *Offscreen-Buffer-Antialiasing* ist eines der Verfahren zur Simulation der Erhöhung der Auflösung.

4.5.3 Einschätzung und Beispiele

Antialiasing führt zu einer weitgehenden Unabhängigkeit der Grafik von der Lage in der Bildpunktmatrix. Neben der Vermeidung des Treppeneffekts werden die Intensitäten von Linien unterschiedlicher Richtungen angeglichen. Die Bildverbesserung ist mitunter beträchtlich, obwohl die Randschärfe bildverbesserter grafischer Triviale verloren geht (Kapitel 4.6).

Antialiasingalgorithmen können hardwareseitig und in Grafikprogrammen implementiert sein. In jedem Fall muss die Technik in den Bilddarstellungsalgorithmus zur Erzeugung grafischer Triviale, z. B. in die beschriebenen Bresenham-Algorithmen, implementiert werden. Dadurch steigen Speicherkosten und Rasterungszeiten.

Die visuellen Ergebnisse bei Nutzung verschiedener Antialiasingalgorithmen sind sehr ähnlich oder gleich. Das Prinzip des Antialiasings wird in Abbildung 4.20 deutlich.

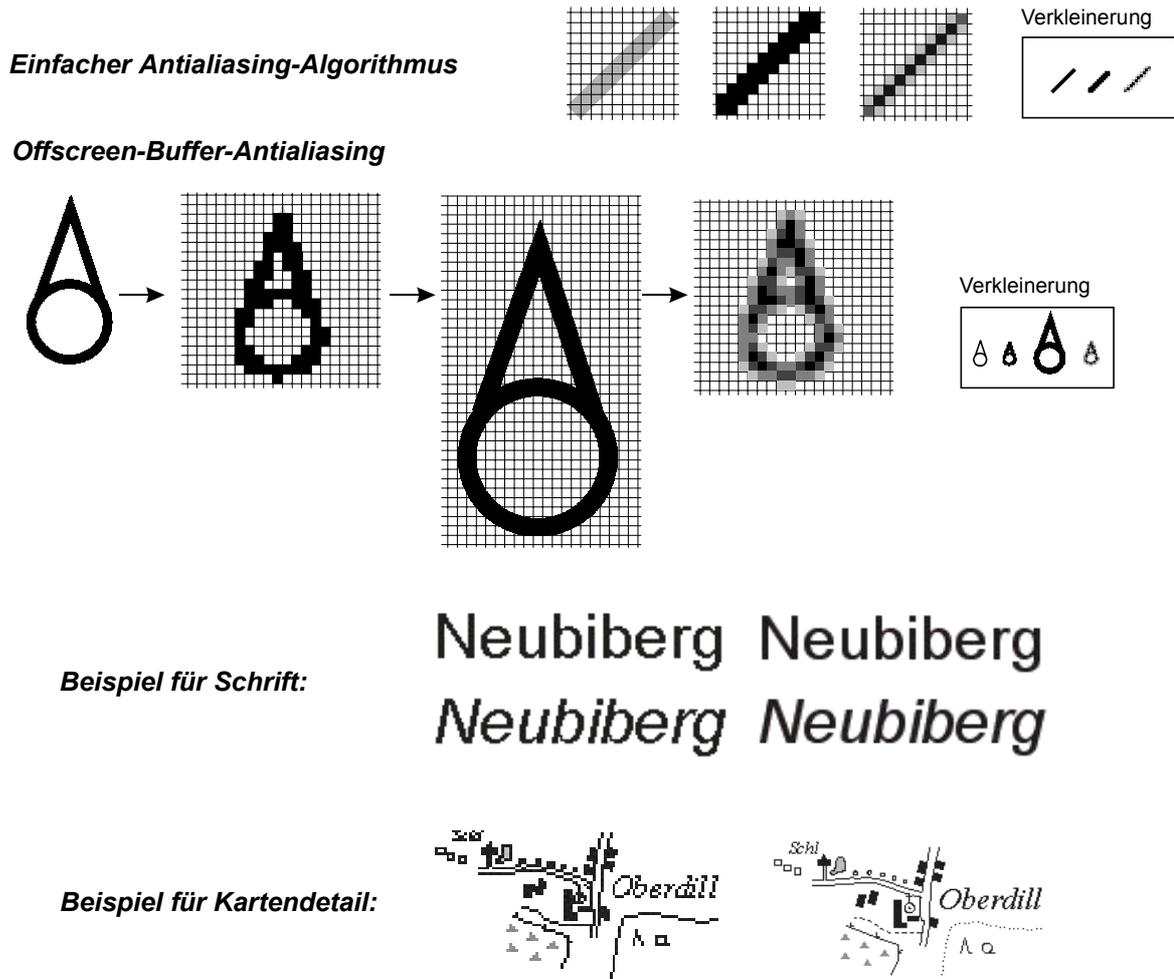


Abbildung 4.20: Wirkung von Antialiasing

Zu Abbildung 4.20: Das obere Beispiel verdeutlicht die Arbeitsweise von Antialiasing. Die linke Grafik zeigt eine vektorielle Linie mit der Breite von zwei Bildpunkten, die in der mittleren Grafik ohne Bildverbesserung rasterkonvertiert. Das dritte Bild zeigt die rasterkonvertierte Linie, die mit einem einfachen Antialiasing-Verfahren bearbeitet wurde. Dabei werden die Bildpunkte am Rand der Linie entsprechend ihrer Bedeckung durch die ideale Linie (erstes Bild) mit einem Grauwert belegt. Durch die Breite der Linie bleiben die zentralen Bildpunkte schwarz. Die Verkleinerung (Grafik oben rechts) stellt die unbearbeitete und bildverbesserte Linie in ursprünglicher Größe nebeneinander. Das Beispiel *Offscreen-Buffer-Antialiasing* erklärt ein anderes Verfahren. Bei ihm wird das Bild vergrößert im Offscreen-Buffer⁸ abgelegt und anschließend in der ursprünglichen Größe gezeichnet. Bei der notwendigen Verkleinerung werden die Grauwerte der Randbildpunkte interpoliert (vgl. SPIESS 1996a, SIEBER/BÄR 1997). Bei diesem Verfahren wird die Erhöhung der Auflösung simuliert. Die Unterschiede zwischen unveränderter und bildverbesselter Grafik werden deutlich. Allerdings ist das Ergebnis bei diesem einzelnen Kartenzeichen unbefriedigend. Bei komplexeren Karteninhalten (Beispiel *Kartendetail*) wird die Verbesserung durch Antialiasing sichtbar. Das Beispiel *Schrift* stellt Schrift mit und ohne Bildverbesserung nebeneinander. Dabei zeigt sich die positive Wirkung von Antialiasing besonders bei kursiver Schrift. Solche Schrift enthält, im Gegensatz zu Schrift normalen Schnitts, kaum in die Bildpunktmatrix eingepasste Schriftbestandteile, so dass Antialiasing bei ausreichend großem Schriftgrad ausschließlich bildverbessernd wirkt.

⁸ Offscreen-Buffer: nicht sichtbarer Bereich des Bildspeichers, in den Daten zur Entlastung des Systembus hineinkopiert werden können. Der Zugriff auf die Daten erfolgt durch die Grafikkarte.

Antialiasing wirkt auch bei Rasterdaten. Abbildung 4.20 *Kartendetail* zeigt den Ausschnitt einer Rasterkarte. Die Unschärfe wird an allen mit Farbwert belegten Bildpunkten erzeugt. In diesem Beispiel verbessert sich die Lesbarkeit deutlich.

4.6 Bildstörung durch Antialiasing

Antialiasing verbessert die Lesbarkeit der Grafik weitgehend. Es ist jedoch eine allgemeine Bildverbesserung, welche vor allem an gekrümmten Linien und der Schrift wirkt. An anderen Trivialen bzw. Kartenzeichen wird ebenfalls Unschärfe erzeugt. In Folge dessen entstehen neue Bildstörungen, die den zweckmäßigen Einsatz von Antialiasing erschweren. Abbildung 4.21 zeigt Beispiele für solche Störungen.

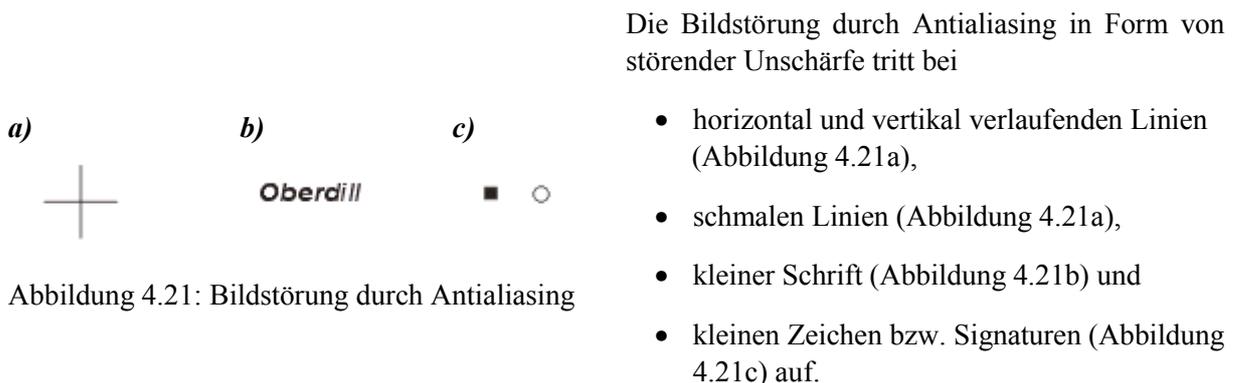


Abbildung 4.21: Bildstörung durch Antialiasing

Allgemein ist festzustellen, dass die Grafik durch Antialiasing scharfe Übergänge bzw. Abgrenzungen verliert. Für die kartografische Darstellung bedeutet das den Verlust eines ihrer wesentlichen Merkmale.

4.7 Vergrößern und Verkleinern der Grafik

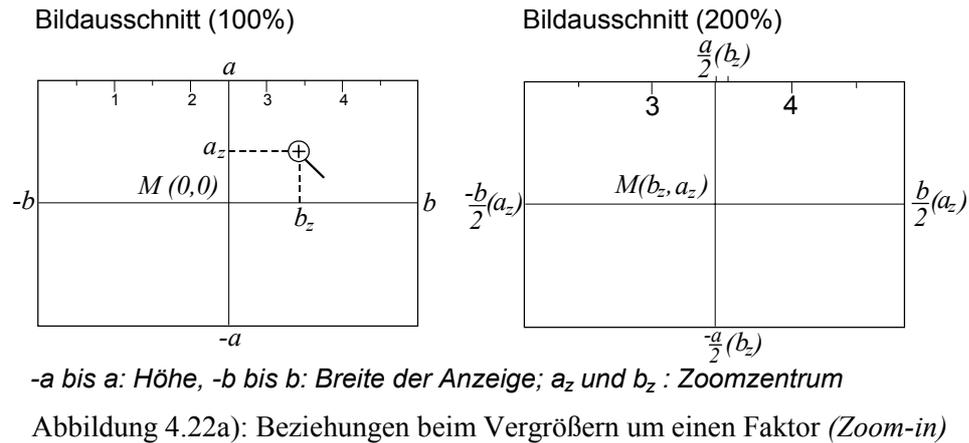
Vergrößern, Verkleinern und Verschieben sind Möglichkeiten, in denen sich die Grafik am Bildschirm von der konventionellen Grafik unterscheidet. Vor allem eine Maßstabsänderung wirkt sich auf das dargestellte Bild in verschiedenen Weisen aus.

4.7.1 Techniken

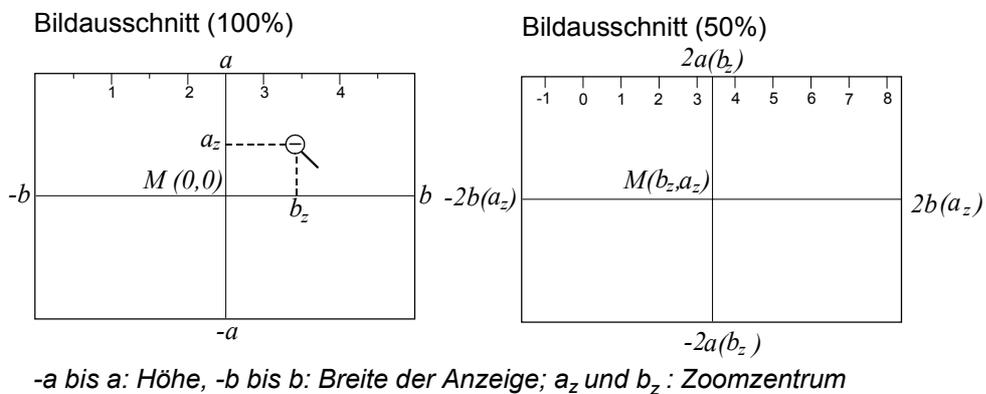
Das Vergrößern und Verkleinern der Grafik (*Zoom*) ist mit der Änderung des Bildausschnitts verbunden und mit einer Änderung der Auflösung vergleichbar. Die Darstellungsfläche bleibt unverändert. Die Maßstabsänderung kann durch Vergrößern eines Bereichs, diskret oder stetig erfolgen.

Die Festlegung eines rechteckigen Vergrößerungsbereichs (*Fensterzoom* bzw. *Zoomfenster*) ermöglicht eine beliebige Auswahl des zu vergrößernden Bildausschnitts und einen weitgehend beliebigen Vergrößerungsfaktor. Zwei Verfahren können beim Fensterzoom angewandt werden. Die Seiten des Vergrößerungsbereichs können beliebig definiert werden oder an ein festgelegtes Verhältnis gebunden sein. Im ersten Fall wird die längere Seite des Zoomfensters in die Folgeansicht eingepasst und die kürzere danach berechnet. Im zweiten Fall ist das Verhältnis der beiden Seitenlängen des Zoomfensters konstant und entspricht gewöhnlich dem Verhältnis der Seiten des Grafikfensters. Bei Verwendung dieser Funktion wird der gesamte Ausschnitt des Zoomfensters in die Folgeansicht übernommen.

Die *diskrete Maßstabsänderung* ist die Vergrößerung und Verkleinerung um einen Faktor. Gewöhnlich erfolgt eine Verdoppelung des Maßstabs einer Grafik mit jedem Vergrößerungsprozess. Der Punkt, auf dem der Zoomprozess gestartet wird, liegt in der vergrößerten Ansicht in der Mitte des Bildausschnitts (Abbildung 4.22a).



Bei Verkleinerung des Bildausschnitts wird das Zoomfenster in die Mitte der verkleinerten Anzeige gesetzt. Die in Abbildung 4.22b) gezeigten Beziehungen ergeben sich in diesem Fall.



Bei der *stetigen Maßstabsänderung* erfolgt ein stufenloser Übergang der Darstellungsgrößen. Auf diese Weise entstehen beliebige Maßstäbe.

4.7.2 Maßstabsänderung von Vektordaten

Bei allen Prozessen der Vergrößerung und Verkleinerung wird in Grafikprogrammen zunächst der Maßstab geändert. Danach erfolgt die erneute Rasterkonvertierung. Dieses Prinzip wird als *Software-Zoom* bezeichnet. Mit jedem Vergrößerungsprozess ist so eine exaktere Darstellung verbunden (vgl. MALIC 1998). Darüber hinaus kann beim Verhalten der Grafikelemente bei der Maßstabsänderung zwischen Maßstabsabhängigkeit und Maßstabsunabhängigkeit der Grafikelemente unterschieden werden.

Bei der Maßstabsänderung und maßstabsabhängigen Grafikelementen werden neben der Ausdehnung auch die Breiten (Strichstärken) der Grafikbestandteile geändert. Abbildung 4.23 zeigt ein Beispiel für die Maßstabsabhängigkeit der Grafikelemente.

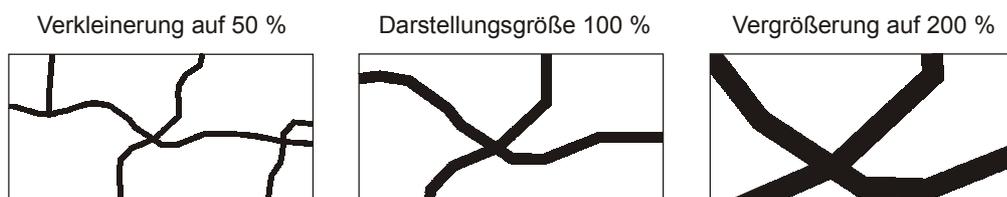


Abbildung 4.23: Maßstabsabhängigkeit der Grafikelemente

Bei Verwendung schmaler Linien kann es vorkommen, dass die Grafikelemente maßstabsabhängig sind, jedoch ohne Verbreiterung erscheinen. Dies ist der Fall, wenn in der Vergrößerung die Linien wiederum nur in einen Bildpunkt Breite rasterkonvertieren. In einer weiteren Vergrößerung kann dann die Linienstärke unverhältnismäßig stark steigen. Bei Verkleinerung werden Linien stets in mindestens einen Bildpunkt rasterkonvertiert. Bei starker Maßstabsreduzierung führt das zum Verschmelzen der Grafik.

Für kartografische Darstellungen hat die Maßstabsabhängigkeit der Grafikelemente in großen und mittleren Maßstäben, etwa bis zum Maßstab 1:50 000, Vorteile. In kleineren Maßstäben spielt die Überzeichnung der Kartenzeichen eine größere Rolle, so dass dort bei Änderung der Darstellungsgröße gegebenenfalls mit der Maßstabsunabhängigkeit der Grafikelemente gearbeitet werden sollte.

Maßstabsunabhängige Grafikelemente behalten, wenn bei Maßstabsänderung die Ausdehnung der Grafik geändert wird, ihre Strichstärke. Abbildung 4.24 zeigt ein Beispiel für ein solches Verhalten der Grafik.

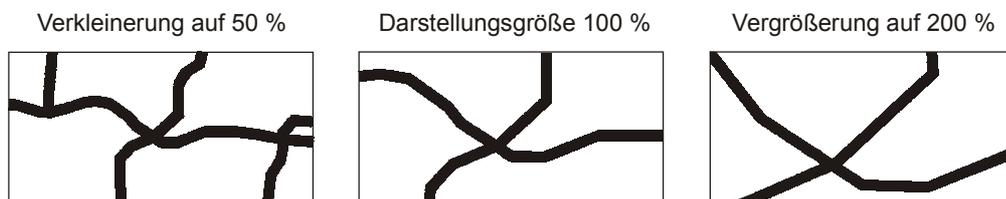


Abbildung 4.24: Maßstabsunabhängigkeit der Grafikelemente

Die Maßstabsunabhängigkeit der Grafikelemente führt bei stärkerer Vergrößerung oder Verkleinerung zum Verlust der grafischen Proportion. Sie sollte für kartografische Darstellungen nur für Maßstabsänderungen im kleinmaßstäbigen Bereich angewandt werden.

Vergrößerungen und Verkleinerungen können zur Veränderung der Lage der Grafik in der Bildpunktmatrix führen. Dies ist der Fall, wenn die Positionen der Grafik vor der Maßstabsänderung verschieden sind. In Abbildung 4.25 sind das die Positionen *I* und *II*. Man beachte die unterschiedliche Lage der verkleinerten Grafiken in der Bildpunktmatrix.

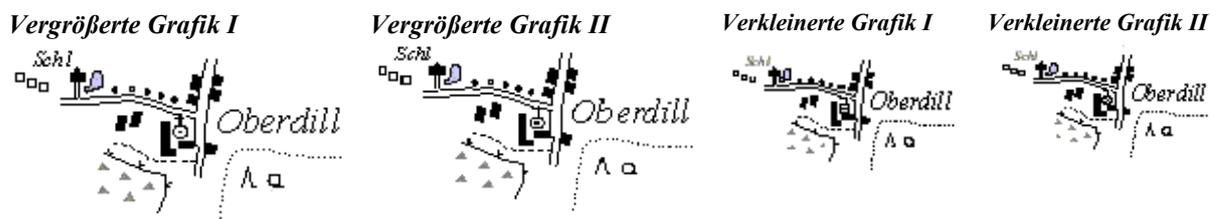


Abbildung 4.25: Veränderung der Lage in der Bildpunktmatrix bei vergrößerter und verkleinerter Grafik

4.7.3 Maßstabsänderung von Rasterdaten

Die Grafikelemente von Rasterdaten sind maßstabsabhängig. Sie setzen sich aus Pixeln zusammen. Schriftgrößen, Strich- und Linienstärken werden immer der Maßstabsänderung angepasst (Abbildung 4.26). Bei starker Verkleinerung führt das zum Ausbrechen der Grafikbestandteile, da der einem Bildpunkt zugeordnete Farbwert aus seinen Nachbarpixeln berechnet wird.



Abbildung 4.26: Anpassung der Linienstärke bei Maßstabsänderung von Rasterdaten

In Kapitel 4.3 wurden die Beziehungen bei der Darstellung von Rasterdaten gezeigt. Wenn ein Pixel des Bildes durch einen Bildpunkt dargestellt wird, verschlechtert sich die Lesbarkeit bei jeder weiteren Vergrößerung.

Für die kartografische Anwendung ist es sinnvoll, Rasterdaten an einen Maßstab zu binden. Die Größe des Bildpunktes bzw. die des Pixels kann zu dieser Bindung nicht beitragen. Wenn die Darstellung eines Rasterbildes mit einem Kartenmaßstab in Übereinstimmung gebracht wird, ist dieser Schritt meist mit der Veränderung der Ausdehnung des Bildes verbunden. Diese Veränderung ist gewöhnlich eine Reduzierung von Länge und Breite, da Rasterbilder oft mit einer Pixeldichte (Auflösung) erfasst werden, die über der des Bildschirms liegt (vgl. Kapitel 4.3). Im verkleinerten Bild mittelt ein Bildpunkt die Farbwerte mehrerer Pixel des Rasterbildes. Diese Eigenschaft führt zur deutlichen Abnahme der Darstellungsqualität des Rasterbildes. Die Grafik bricht aus, da zu viele Pixel des Bildes durch einen Bildpunkt repräsentiert werden. Eine stufenweise Vergrößerung der Darstellung bringt dagegen die Verbesserung der Lesbarkeit mit sich, bis im vergrößerten Bild ein Pixel des Rasterbildes mit einem Bildpunkt des Monitors korrespondiert (beste Darstellungsqualität). Zum Beispiel werden bei einer Pixeldichte von 157 p/cm (400 dpi) und 100% Darstellungsgröße bei einer Bildschirmauflösung von 39 p/cm (100 dpi) 16 Pixel des Rasterbildes auf einen Bildpunkt abgebildet. In der um den Faktor 200% vergrößerten Ansicht repräsentiert ein Bildpunkt des Monitors vier Pixel des Rasterbildes. Die Übereinstimmung von Pixel und Bildpunkt wird bei der Vergrößerung auf 400 % erreicht. Diese Konstellation ist ebenfalls gegeben, wenn ein mit 39 p/cm (100 dpi) erfasstes Rasterbild unter der gleichen Bildschirmauflösung und ein Rasterbild der Pixeldichte 79 p/cm (200 dpi) in der Darstellungsgröße 200 % betrachtet werden. Bei weiteren Vergrößerungen, das heißt ein Pixel des Rasterbildes wird von mehreren Bildpunkten des Monitors wiedergegeben, sinkt die Darstellungsqualität erheblich. Tabelle 4.1 zeigt den Zusammenhang zwischen der Pixeldichte und der Darstellungsgröße mit Zu- und Abnahme der Darstellungsqualität.

SPIESS (1996a und 1996b) empfiehlt, Rasterdaten kartografischer Darstellungen unter dreifacher Vergrößerung zu betrachten. Für ein Bild des Maßstabes 1:30 000 bedeutet dies die primäre Betrachtung im Maßstab 1:10 000. Die beste Darstellungsqualität des Rasterbildes ergibt sich danach, wenn die Datenerfassung unter der dreifachen Auflösung des Bildschirms erfolgt⁹. Der konkrete Wert wird durch die Auflösung des Monitors bestimmt.

⁹ Das bedeutet, dass die Auflösung, unter der Rasterdaten betrachtet werden, bei der Datenerfassung bekannt sein muss. Die Auflösung bei der Datenerfassung ist von der Auflösung am Bildschirm abhängig zu machen.

Tabelle 4.1: Gerechnete Anzahl der Pixel des Rasterbildes, die bei verschiedenen Pixeldichten und Darstellungsgrößen durch einen Bildpunkt des Bildschirms wiedergegeben werden (hellgrau: unter guter, dunkelgrau: unter schlechter Darstellungsqualität)

Pixeldichte in p/cm (dpi)	Darstellungsgröße (%)											
	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
39 (100)	4	1	0,44	0,25	0,16	0,11	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03
79 (200)	16	4	1,78	1	0,64	0,44	0,33	0,25	0,20	0,16	0,13	0,11
118 (300)	36	9	4	2,25	1,44	1	0,74	0,56	0,44	0,36	0,30	0,25
157 (400)	64	16	7,11	4	2,56	1,78	1,31	1	0,79	0,64	0,53	0,44
197 (500)	100	25	11,1	6,25	4	2,78	2,04	1,56	1,23	1	0,83	0,69
236 (600)	144	36	16	9	5,76	4	2,94	2,25	1,78	1,44	1,19	1

4.8 Verschiebung der Grafik

Die Verschiebung (*Scrollen*), das heißt die Veränderung der Lage aller Grafikbestandteile unter Beibehaltung ihrer Größe, wirkt sich bei Vektor- und Rasterdaten unterschiedlich auf die Lage in der Bildpunktmatrix des Bildschirms aus.

4.8.1 Verschiebung von Vektordaten

Das Verschieben des Bildausschnitts erfolgt meist über Funktionen der verwendeten Grafikprogramme, z. B. über Menüleisten. Bei Verwendung solcher Funktionen ändert sich an der Lage der Grafik in der Bildpunktmatrix nichts, wenn die Verschiebungen um ganze Anzahlen von Bildpunkten erfolgen. Bei Verschiebung der Grafik um einen anders festgelegten Wert, z. B. durch manuelle Eingabe eines metrischen Maßes, kann sich jedoch die Lage der Grafik in der Bildpunktmatrix ändern. Eine solche Verschiebungstechnik ist deshalb unzweckmäßig. In Abbildung 4.27 wurde das rechte Kartendetail um einen halben Bildpunkt verschoben. Es zeigt sich, dass die Grafikelemente nach einer solchen Lageänderung im Vergleich zum linken Detail anders in die Bildpunktmatrix eingepasst werden.

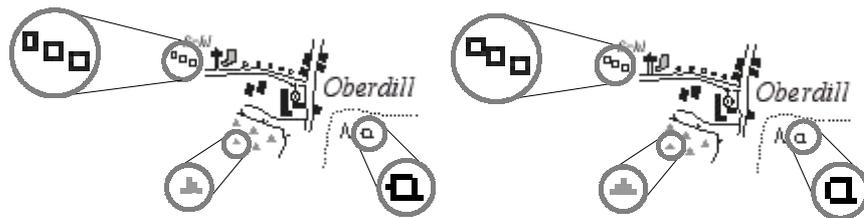


Abbildung 4.27: Veränderte Lage einer Grafik in der Bildpunktmatrix beim Verschieben um einen bestimmten Wert

4.8.2 Verschiebung von Rasterdaten

Rasterbilder liegen in einer Pixelmatrix, die durch Bildpunkte wiedergegeben wird, vor. Die Lage der Bildpunkte zueinander ändert sich bei Rasterdaten bei Verschiebung nicht. Abbildung 4.28 zeigt dies an einem Beispiel.

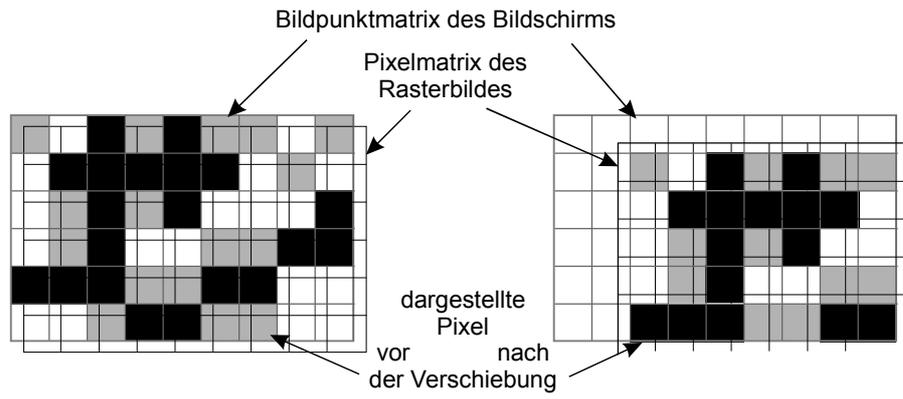


Abbildung 4.28: Verhalten von Rasterdaten bei Verschiebung

5 Kartengestaltung für die Bildschirmvisualisierung

Die Eigenschaften am Bildschirm visualisierter Grafik und die Unterschiede des Bildschirms zu konventionellen Zeichenträgern wurden in den vorstehenden Kapiteln ausführlich behandelt. Deutlich wurde dabei, dass die Übertragung konventioneller Karten auf den Bildschirm wegen der durch die grobe Auflösung verursachten Bildstörung zu unbefriedigenden Ergebnissen führt, da die Grafik einer nicht vernachlässigbaren Deformation unterliegt. Vor allem Darstellungen hoher grafischer Dichte verlieren zum Teil ihre Lesbarkeit.

Eine Karte für die Bildschirmvisualisierung erfordert eigene, aussagekräftige und ansprechende Darstellungsmittel, die sich an vorhandenen kartografischen Gestaltungsregeln orientieren sollten. Deren Grundsätze gelten auch für die immaterielle (nach HAKE/GRÜNREICH 1994 auch *virtuelle*) Präsentation der Karte am Bildschirm. Die Grafik setzt sich ebenso aus Punkten, Linien und Flächen sowie Schrift zusammen. Ihre Gestaltung muss demnach durch punkt-, linien- und flächenhafte Darstellungsmittel, deren grafische Variationsmöglichkeiten zu untersuchen sind, erfolgen.

Die Kartengrafik wird aus sichtbaren Bildpunkten, denen eine Farbe zugewiesen wird, gebildet. Der Umgang mit dem Bildpunkt als Maß, an dem sich die Gestaltung orientiert, ist ein entscheidender Unterschied zur Gestaltung gedruckter Karten. Die weitgehende Überwindung der durch die Bildpunktmatrix des Monitors verursachten Beeinträchtigungen ist eine Aufgabe der Kartengestaltung für die Bildschirmvisualisierung. Das Ergebnis der Gestaltung darf keine *neue* Kartengrafik sein, sondern sollte der gedruckten Karte ähneln. Die Vertrautheit der Kartengrafik beim Leser darf nicht verloren gehen. Seine Interpretationsfähigkeit, das heißt das Wahrnehmen (Identifizieren von Objekten), das Auszählen, das Schätzen, das Vergleichen und Deuten des Karteninhalts sowie die Geländevorstellung und -beurteilung bei topografischen Karten, muss bewahrt bleiben.

Die Bearbeitung von Kartengrafiken durch bildverbessernde Maßnahmen führt nur zu Teilerfolgen. Sie ist auf dem Weg zu einer geeigneten Darstellung am Bildschirm nur ein Schritt. Eine geeignete Kartengrafik für die Darstellung an Monitoren beachtet darüber hinaus notwendige Mindestmaße, den gezielten Einsatz kartografischer Darstellungsmittel und die grafische Dichte des Kartenbildes.

Das grafische Gefüge konventioneller Karten besteht aus Grafikbestandteilen, deren Ausdehnung und Abstand sich notwendigerweise oft den kartografischen Mindestgrößen nähern. Die Größen von Grafikelementen für Bildschirme werden aber nicht durch die Eigenschaften des menschlichen Auges, sondern durch die erheblich höher liegende Schwelle der Bildpunktausdehnung, also durch die Bildschirmtechnik, bestimmt. Zeichen in den Mindestgrößen der konventionellen Kartografie sind am Bildschirm zwar sichtbar, aber oft nicht erkennbar, das heißt nicht eindeutig identifizierbar, klassifizierbar oder auszählbar. Abbildung 5.1 zeigt zwei Beispiele für die Visualisierung digitalisierter konventioneller Karten am Bildschirm. Die grafischen Mängel werden deutlich. Für diese beiden Kartenausschnitte werden Gestaltungsvorschläge für die Visualisierung am Bildschirm erarbeitet (Kartenproben¹⁰ 6 und 9 auf dem beiliegenden Datenträger).

Eine Voraussetzung für die Erarbeitung von Gestaltungsmitteln ist demnach die Festlegung von Mindestgrößen für punkt- und linienhafte Gestaltungsmittel sowie für Flächen und die Schrift (Kapitel 5.1). Die weiteren Ausführungen befassen sich mit der Kartengestaltung. Dies beinhaltet die spezielle

¹⁰ Bei Betrachtung der Kartenproben ist zu beachten, dass die Erscheinungsbilder von Farben und Tonwerten sowohl von der Grafikkarte als auch vom Bildschirm abhängig sind. Auf die Angabe der Farbzusammensetzung wurde dennoch verzichtet. Auf dem Datenträger sind unter „Grafikbeispielen“ aber Farbskalen wiedergegeben, zu denen die Mischung aus den drei Grundfarben angegeben wurde. Mit den Funktionalitäten der Bildschirmkalibrierung (Funktionen wie Farbwahl, -management bzw. *Color Adjustment*) und unter Zuhilfenahme von Farbtafeln kann das Erscheinungsbild der Farben am Bildschirm den in den Kartenproben verwendeten Farben angenähert werden.

Bildverbesserung, eine grafische Bearbeitung, mit der Positionssignaturen und Muster in die Bildpunktmatrix eingepasst werden können (NEUDECK 2000).

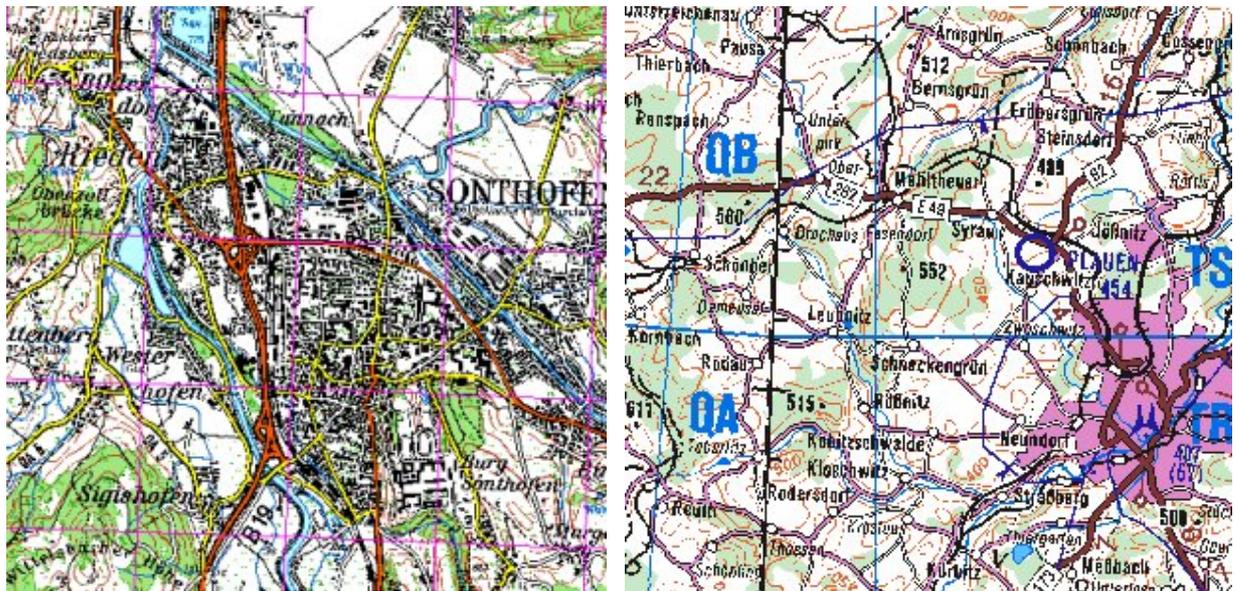


Abbildung 5.1: Visualisierung digitalisierter konventioneller Karten der Maßstäbe 1:50 000 (links) und 1:250 000 (rechts)

5.1 Kartografische Mindestgrößen

Die Rasterkonvertierung kartografischer Darstellungen und der größere Betrachtungsabstand an Bildschirmen sowie die grobe Auflösung haben zur Folge, dass die perzeptive Schwelle deutlich über der Größe liegt, in der die Grafik am Bildschirm darstellbar ist (z. B. die Größe eines Bildpunktes als Quadrat oder Rechteck). Unmöglich ist auch die Erzeugung von Grafik, welche das Auflösungsvermögen des menschlichen Auges unterschreitet. Deshalb wird die Festlegung von Mindestmaßen speziell für kartografische Darstellungen für Bildschirme erforderlich. Ein solches Maß ergibt sich aus der Größe, die notwendig ist, um die Grafik sinnlich wahrnehmen und um Zusammenhänge mit anderer Grafik erkennen zu können.

Die visuelle Trennung der Zeichen erfordert die Einhaltung eines Mindestabstands. Dieser Abstand darf unabhängig von Art und Lage des Zeichens nicht unterschritten werden. Er ermöglicht die Auszählbarkeit von Kartenzeichen. Ein weiterer Aspekt der visuellen Trennung liegt darin, dass verschiedene Formen von Zeichen als solche erkannt werden müssen und optischen Täuschungen vorzubeugen ist. Dies gilt vor allem für Positionssignaturen. Mögliche optische Täuschungen, die auf Grund der Zeichengröße zu Stande kommen können, sind am Beispiel von Kreisen in Abbildung 4.15 zu sehen. Dort ähneln rasterkonvertierte Kreise teilweise Rechtecken und Quadraten.

5.1.1 Bisherige Untersuchungen

Zu Untersuchungen zur Festlegung von Mindestgrößen für kartografische Darstellungen an Bildschirmen liegen bisher nur wenige Veröffentlichungen vor (z. B. SPIESS 1996a und b, MALIC 1998, MÜLLER/DIETRICH 1998, BRUNNER 2000a), deren Inhalte in Tabelle 5.1 nebeneinander gestellt werden. Sie beziehen sich aber lediglich auf wenige Kartenzeichen. Die Größen werden primär in Millimetern angegeben und gelten entweder für alle Auflösungen von Monitoren oder werden in Abhängigkeit zu Auflösung und Größe der Bilddiagonale angegeben.

Neben Arbeiten, in denen die Problematik kartografischer Mindestgrößen behandelt wird, existieren einige Beiträge, welche sich aus ergonomischer Sicht mit der Größe von Text und Grafik befassen. BRANDAUER (1995) empfiehlt eine übliche Zeichenhöhe von 20-22 Bogenminuten, welche bei 50-60

cm Betrachtungsabstand 2,9-3,6 mm entspricht. Die kleinste Zeichenhöhe gibt er unter Beachtung bestimmter Buchstabenproportionen mit lediglich 16 Bogenminuten an. Diese Größe entspricht unter obigem Betrachtungsabstand 2,3-2,8 mm (vgl. auch BLAHA 1995, DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG 1980-1984).

MALIC (1998) zeigt Mindestgrößen für verschiedene Typen von Bildröhren (Tabelle 5.1). Dabei werden für lineare grafische Triviale in Abhängigkeit von Art und Ausrichtung im Vergleich zu konventionellen Darstellungen bis zu zehnfache Vergrößerungen angegeben. Die Arbeit von MALIC (1998) zeigt ausführlich, dass die Maße von geometrischen Zeichen und von Schrift vom Typ der Bildröhre und von der eingestellten Auflösung des Monitors abhängig sind.

Tabelle 5.1: Mindestgrößen für kartografische Darstellungen an Bildschirmen
(nach MALIC 1998, MÜLLER/DIETRICH 1998 und BRUNNER 2000a)

Zeichen/Signatur - Kriterium	Mindestgrößen (mm) nach									
	Müller/Dietrich (1998)	Brunner (2000a)		Malic (1998)						
				1 024 x 768 Bildpunkte 15° SM* 17° LM**		1 280 x 1.024 Bildpunkte 20° SM* 17° LM**				
		Grafik	Grafik	Grafik	Grafik	Grafik	Grafik	Grafik		
Kreisscheibe - Durchmesser	3,0	●	3,0	●	2,3	1,5	● ●	2,1	1,7	● ●
Quadrat - Seitenlänge	1,5	■	2,0	■	1,0	1,2	■ ■	1,2	1,2	■
Dreieck - Seitenlänge	keine Angabe		keine Angabe		1,1	1,0	▲ ▲	1,2	1,2	▲
Linie - Stärke	0,4	—	0,4	—	0,3	0,3	—	0,3	0,3	—
Linien - Abstand	0,4	==	0,5	==	0,5	0,5	==	0,3	0,5	==
Flächen - Abstand	keine Angabe		keine Angabe		0,3	0,6	■ ■ ■ ■	0,3	0,6	■ ■ ■ ■
Schrift - Höhe, horizontal	3,6		3,6		1,9	2,0		1,9	1,5	
Schrift - Höhe, nicht horizontal	keine Angabe		keine Angabe		2,4	2,7		2,0	2,3	

* SM = Streifenmasken-, **LM = Lochmasken-Bildschirm

Die von verschiedenen Autoren angegebenen, für Kathodenstrahlröhren verschiedener Größen, Typen und Auflösungen geltenden, Mindestgrößen, vor allem die von MALIC (1998), können auf Flüssigkristallbildschirme übertragen werden, da die Bildpunkte dort ähnlich groß sind. Dies ist in jedem Fall möglich, wenn die in der Arbeit von MALIC (1998) genannten Maximalgrößen benutzt werden. Sie können aber nicht für alle Bildschirmtechniken gelten. Plasmabildschirme und Projektoren verlangen höher liegende Größen, da die große Ausdehnung der Bildpunkte die Wiedergabe von Grafik der in Tabelle 5.1 genannten Größen nicht immer ermöglicht.

Werden in Tabelle 5.1 die Angaben zur Schriftgröße von MALIC (1998) betrachtet, fallen die im Vergleich zu den anderen Quellen kleinen Werte auf. Vor allem die Schrifthöhen 1,9 mm bzw. 2 mm bei der Auflösung von 1 024 x 768 Bildpunkten, 1,5 mm Schrifthöhe bei 1 280 x 1 024 Bildpunkten und die Werte für den nicht horizontalen Verlauf sind deutlich zu klein. Dies gilt auch für die angegebenen Seitenlängen für Dreieck und Quadrat. Zur Veranschaulichung bietet sich die Betrachtung von Tabelle 5.1 auf dem beiliegenden Datenträger an (Grafikbeispiel „Mindestgröße“). Die hohen Werte in Tabelle

5.1 sind größer als die in Abschnitt 2.4.4 gezeigten, nur vom Betrachtungsabstand abhängigen Mindestgrößen.

Die Erkennbarkeit von Linien am Bildschirm ist bei Verwendung der genannten Maße gegeben. Daraus ergeben sich die in Tabelle 5.2 gezeigten Anzahlen erkennbarer und auszählbarer Linien.

Tabelle 5.2: Anzahl erkennbarer Linien bei der Darstellung am Bildschirm

Parallele Linien pro 5 mm	Beschreibung	Grafik
7	Linienstärke: 0,4 mm, Zwischenraum: 0,4 mm	
6	Linienstärke: 0,4 mm, Zwischenraum: 0,5 mm	

5.1.2 Mindestgrößen im Bildpunktmaß

In bisherigen Untersuchungen wurden die Maße von Kartenzeichen für kartografische Darstellungen an Bildschirmen ausschließlich in Millimetern angegeben. Sie sind auf heute übliche Bildpunktgrößen von Kathodenstrahlröhren und Flüssigkristallbildschirmen abgestimmt und müssen korrigiert werden, wenn Monitore mit kleineren Bildpunkten, das heißt einer dichteren Bildpunktmatrix, verwendet werden. Kleinere Bildpunkte verringern die negativen Auswirkungen der Rasterkonvertierung und verbessern die Erkennbarkeit von Details. Die Angabe der Mindestgrößen in Bildpunkteinheiten ist daher zweckmäßig, um sie unabhängig von der Auflösung von Monitoren festlegen zu können. Bei zukünftig kleiner werdenden Bildpunkten nähern sich die Größen allmählich den für konventionelle Karten gültigen Maßen an. Bei einer Bildschirmauflösung von 118 p/cm (300 dpi) sollte kein Unterschied zum Druck auf konventionellen Zeichenträgern mehr sichtbar sein. In diesem Fall könnte auf bewährte Richtlinien konventioneller Kartengestaltung und auf Mindestmaße für den Druck zurückgegriffen werden.

Insgesamt erfordert die Betrachtung zu notwendigen Zeichengrößen und -abständen hohe Aufmerksamkeit, da wegen der groben Auflösung von Bildschirmen zu erwarten ist, dass Kartenzeichen zum großen Teil kleinstmöglich wiedergegeben werden, um die Überlastung des Kartenbildes zu vermeiden.

Tabelle 5.3 zeigt *Mindestgrößen für Positionssignaturen* im Bildpunktmaß. Die Angabe für hohle Formen berücksichtigt dabei die Stärke der Kontur. Insbesondere für bildhafte Kartenzeichen müssen zur Förderung der Erkennbarkeit größere Maße als für geometrische Zeichen definiert werden. Die in Tabelle 5.3 angegebenen Werte entsprechen etwa den dreifachen Größen in konventionellen Karten, wenn eine Bildpunktgröße von etwa 0,25 x 0,25 mm² angenommen wird. Bildhafte Zeichen sollten daher bei der heute gängigen Bildschirmauflösung nicht eingesetzt werden.

Die angegebenen Größen bei geringem Tonwert- und Farbgewichtsunterschied differieren nur geringfügig von denen bei Schwarz-Weiß-Kontrast, da die Ausdehnung des Zeichens die Lesbarkeit auch bei geringem Kontrast ermöglicht. Für hohle Zeichen müssen die Größen wegen der fehlenden Füllung bei geringem Tonwert- und Farbgewichtsunterschied ein wenig angehoben werden. Quadratische und rechteckige Positionssignaturen sind bei paralleler Lage in der Bildpunktmatrix gegen Bildstörung wenig anfällig. Ihre Verwendung in der kartografischen Darstellung ist besonders geeignet.

Neben festgelegten Größen sind für die Garantie der Lesbarkeit einer Karte ausreichende Abstände zwischen Kartenzeichen ein wesentliches Kriterium. Der kleinstmögliche Abstand zwischen zwei Kartenzeichen ergibt sich aus der Bildpunktgröße. Er ist aber zur visuellen Wahrnehmung wegen des

notwendigen Leseabstands nicht ausreichend, zumal bei ungünstiger Lage der Kartenzeichen Verschmelzungen auftreten.

Tabelle 5.3: Mindestgrößen von Positionssignaturen an Bildschirmen

Positionssignatur	Kriterium für Maß	Maße bei Schwarz-Weiß-Kontrast (in Bildpunkten)	Grafik	Bildpunktmaße bei farbigen Zeichen oder farbgetöntem Grund mit großem Tonwert- und Farbgewichtsunterschied		Grafik	
				geringem	großem	a*	b**
Kreisscheibe	Durchmesser	10	●	10	12		
Quadrat, gefüllt	Seite	6	■	6	6		
Quadrat, hohl	Seite	8	□	8	10		
Rechteck, gefüllt	Seite x Seite	6 x 8	■	6 x 8	6 x 8		
Dreieck, hohl	Seite	10	▲	10	13		
Bildhaftes Zeichen	Seiten	15 x 15 bis 30 x 30		15 x 15 bis 30 x 30	verschieden (110 - 130 %) ^{***}		

* - für großen, ** - für geringen Tonwert- und Farbgewichtsunterschied, *** des Wertes bei großem Tonwert- und Farbgewichtsunterschied

Linien sollten mindestens zwei Bildpunkte breit sein. In dieser Stärke wirken die verschiedenen Intensitäten bei unterschiedlicher Richtung weniger als bei der kleinsten möglichen Linienstärke von einem Bildpunkt. Der minimale Abstand zwischen zwei Linien sollte gleich der Linienstärke sein. Für gekrümmte Linien empfiehlt sich aber die Erhöhung des Abstands um einen Bildpunkt. Bei heutigen Bildpunktgrößen können in einer Breite von 5 mm fünf parallele Linien dargestellt werden. Bei gekrümmten Linien ergeben sich bei erhöhtem Abstand vier parallele Linien auf 5 mm.

Die Mindestgrößen von *Flächen* mit und ohne Kontur und die von Flächensignaturen (Muster) müssen getrennt betrachtet werden. Die Größe der Fläche muss die Erkennbarkeit eines homogenen Bildpunktbereichs als flächenhafte Form gewährleisten. Für Flächen, deren Ausdehnungen in beiden Richtungen etwa gleich sind, gilt, dass sie gut erkennbar sind, wenn sie von einem Quadrat mit 12 Bildpunkten Seitenlänge noch umschlossen werden. Für Flächen mit Konturen ist zu berücksichtigen, dass diese mindestens zwei Pixel breit sein müssen. Daraus ergibt sich eine minimale Ausdehnung von etwa 16 Bildpunkten (Abbildung 5.2).

In eine Richtung gestreckte Flächen sollten in dieser Richtung mindestens 20 Bildpunkte lang und in der weniger ausgedehnten Richtung fünf bis sechs Bildpunkte breit sein. Gestreckte Flächen mit Kontur und gegebenenfalls ohne Füllung sind als solche nur erkennbar, wenn sich die Konturen der schmalen Seiten nicht berühren. Die schmale Seite muss verbreitert werden, um dies zu gewährleisten. Eine Verdoppelung auf 10 bis 12 Bildpunkte erscheint notwendig (Abbildung 5.2).

Die Angaben von Abbildung 5.2 beziehen sich auf Flächen, die über farbintensive Linien und bzw. oder Füllungen verfügen. Für Flächen, die einen geringen Tonwert- und Farbgewichtsunterschied zum Hintergrund aufweisen, müssen die Größen ein wenig angehoben werden.

Der Einsatz von Mustern als Füllung für Formen, deren Größe an die Mindestmaße heranreicht, aber auch für größere Flächen, ist ungeeignet, da für die Musterbestandteile die Stärke für Linien von zwei Bildpunkten zu beachten ist. Sie sind ausschließlich auf große Flächen anwendbar.

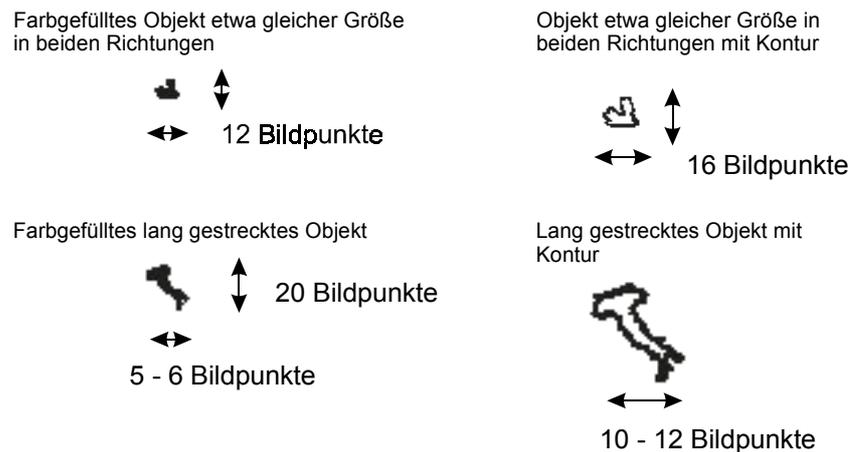


Abbildung 5.2: Mindestgrößen von Flächen

Die Angaben zum minimalen *Schriftgrad* von MÜLLER/DIETRICH (1998) und BRUNNER (2000a) müssen in das Bildpunktmaß umgesetzt werden. Für serifenlose und parallel zur Bildpunktmatrix liegende Schrift ergibt sich für Großbuchstaben eine Mindesthöhe von 14 Bildpunkten. Die minimale Höhe von Buchstabenzeichen kann ebenfalls mit diesem Maß angegeben werden.

Die weiteren Untersuchungen werden zeigen, dass Schrift im Kartenbild auf Grund des notwendigen Schriftgrades nur in sehr begrenztem Maße wiedergegeben werden kann.

5.1.3 Richtungsabhängige Maße

Mindestgrößen und –abstände sind richtungsabhängig. Unter der Richtungsabhängigkeit ist zu verstehen, dass einige Angaben nur in bestimmter Lage des Kartenzeichens in der Bildpunktmatrix gültig sind. Das betrifft insbesondere

- Positionssignaturen (Quadrate und Rechtecke),
- Linien und
- Schrift.

Die in Abschnitt 5.1.2 angegebenen Größen für *geometrische Zeichen* gelten nur für parallel in der Bildpunktmatrix liegende Quadrate und Rechtecke. Grafikbeispiel „Mindestgröße Quadrat“ auf dem beiliegenden Datenträger zeigt ein ebenso großes gefülltes Quadrat mit acht Bildpunkten Seitenlänge, das um 15°, 30° und 45° gedreht wurde. Dabei fällt auf, dass die quadratische Form bei verschiedenen Drehungen und Lagen in der Bildpunktmatrix verloren geht. Die Seitenlänge muss auf 10 Bildpunkte angehoben werden, um den Verlust der Form zu vermeiden. Ähnliches gilt auch für Rechtecke.

Die Größe für hohle Dreiecke wurde mit der Seitenlänge von 10 Bildpunkten bestimmt (Tabelle 5.3). Grafikbeispiel „Mindestgröße Dreieck“ zeigt ein gefülltes Dreieck dieser Seitenlänge, das um 30° und 60° gedreht wurde. In diesen Lagen ist das Dreieck eindeutig erkennbar, da immer eine Seite in die Bildpunktmatrix eingepasst wird und die angegebene Mindestlänge der Seiten bereits berücksichtigt, dass dies bei zwei Seiten nicht der Fall ist.

Wenn Quadrate und Rechtecke ohne Füllung gedreht werden, müssen die Größen weiter erhöht werden. Die hohle Form bedingt eine Kontur, die mindestens zwei Bildpunkte stark sein sollte. Bei Betrachtung um 15° sowie um 30° gedrehter Quadrate mit 10 Bildpunkten Seitenlänge fällt auf, dass die Stärke der Kontur nicht ausreichend ist und die ursprüngliche Form weitgehend verloren geht. Die Gestalt des Quadrats ist auch bei Verbreiterung der Kontur nicht zu wahren. Erst bei größeren Quadraten, etwa solchen mit einer Seitenlänge von 14 oder 15 Bildpunkten, ist die Form in verschiedenen La-

gen erkennbar. Eine solche Größe entspricht bei heutigen Bildpunktgrößen jedoch einer Seitenlänge von etwa 3,5 mm.

Auch der Mindestabstand einiger Positionssignaturen ist richtungsabhängig, da sich ihre Formen bei Drehung ändern. Der Abstand zwischen quadratischen und rechteckigen Zeichen sollte auch bei ungünstiger Lage in der Bildpunktmatrix bei zwei Bildpunkten liegen. In paralleler Lage zur Bildpunktmatrix bietet sich dann ein Abstand von drei Bildpunkten an, da er sich bei veränderter Lage in der Bildpunktmatrix um einen Bildpunkt verringern kann. Positionssignaturen können so gestaltet werden, dass die Richtungsabhängigkeit ihrer Größen nicht wirksam wird (vgl. auch Abschnitt 5.2.7).

Das konventionelle Kartenbild wird zum großen Teil von *linearen Strukturen* bestimmt. Lineare Kartenzeichen tragen Lageinformation und können deshalb nicht beliebig in die Bildpunktmatrix eingepasst werden. Ein nicht bildverbessertes lineares Kartenzeichen, z. B. eine Linie, die einen Wasserlauf repräsentiert, kann in verschiedenen Richtungen nicht in gleicher Intensität dargestellt werden. Die notwendige Linienstärke kann aus der Richtung zwar berechnet werden, z. B. wenn eine Linienstärke für die Richtungen 0° oder 90° festgelegt wird, aber die in der Darstellung genutzte Linienbreite ist an das Bildpunktmaß gebunden. Tabelle 5.4 zeigt die notwendige Rundung der Bildpunktweite, durch die verschiedene Intensitäten erzwungen werden.

Tabelle 5.4: Mindeststärke von Linien in Abhängigkeit von ihrer Richtung

Strichstärke	Richtung									
	45°	40°	35°	30°	25°	20°	15°	10°	5°	0°
Bildpunkte (berechnet)	2,828	2,376	2,306	2,236	2,172	2,114	2,066	2,018	2,008	2
Bildpunkte (gerundet)	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Grafik										

Nach Tabelle 5.4 eignet sich bei Linienrichtungen um 45° und 135° eine erhöhte Strichstärke, um die Wirkung verschiedener Intensitäten zu verringern.

Bei Drehung von *Schriften* der Mindestgröße von 14 Bildpunkten sind die Buchstaben aller Schnitte erkennbar, die Schriften aber nicht gut lesbar. Dies gilt für Serifenschrift und serifenlose Schrift normalen Schnitts gleichermaßen. Um eine gute Lesbarkeit zu gewährleisten, muss die Größe für nicht parallel zur Bildpunktmatrix liegende Schrift erhöht werden. Die Verwendung solcher Schriften empfiehlt sich daher nicht ohne Antialiasing, obwohl beim Schriftgrad von 16 Bildpunkten eine Verbesserung der Lesbarkeit eintritt. Für Buchstabenzeichen, die in topografischen Karten als Kennzeichnungen für Einzelzeichen (z. B. *ND* für Naturdenkmal, *PW* für Pumpwerk usw.) und in thematischen Karten verwendet werden, gilt dies auch. Solche Bezeichnungen können jedoch immer parallel zur Bildpunktmatrix (waagrecht) liegen.

5.1.4 Auswirkung der allgemeinen Bildverbesserung auf die Mindestmaße

Mit Antialiasing sind sichtbare, mitunter beträchtliche Verbesserungen in der Wiedergabe der Rastergrafik möglich (vgl. Kapitel 4.5). In den wenigen Veröffentlichungen, die sich bisher mit Mindestgrößen in kartografischen Darstellungen für Monitore befassten, findet die Wirkung bildverbessernder Maßnahmen keine Berücksichtigung. Sie wird daher im Folgenden für Positionssignaturen, Linien, Flächen und Schrift untersucht, da die teilweise erheblich höhere grafische Qualität der kartografischen Darstellung durch Antialiasing einen Einfluss vor allem auf Linienstärken, Flächen- und Schriftgrößen erwarten lässt.

Im Vorstehenden wurde bereits festgestellt, dass bestimmte geometrische Formen für die Gestaltung von Positionssignaturen besonders geeignet sind. Dies sind Formen, die parallel zur Bildpunktmatrix liegen können (Quadrate und Rechtecke). An solchen Zeichen erzielt Antialiasing keine bildverbessernde Wirkung (keine Glättung, keine zu beseitigende Intensitätsschwankungen). Es werden sogar Bildstörungen verursacht, da die Randschärfe der Positionssignaturen verloren geht (vgl. Kapitel 4.6). Fehlende Randschärfe wirkt am wenigsten störend, wenn die Farbe des bildverbesserten Zeichens und die des Hintergrundes gleich und nur die Tonwerte verschieden sind. In kartografischen Darstellungen ist dieser Fall nur selten anzutreffen. Ein geringer Tonwert- und Farbgewichtsunterschied zwischen Positionssignatur und Hintergrund erfordert außerdem eine höhere Zeichengröße, die durch die Bildverbesserung nicht wesentlich verkleinert werden kann.

Die Bildverbesserung wirkt jedoch bei anderen geometrischen Zeichen wie Kreisscheibe, Kreis, Dreieck und bildhaften Zeichen. Tabelle 5.5 fasst Mindestgrößen solcher bildverbesserter Positionssignaturen zusammen. Beim Vergleich der Werte von Tabelle 5.5 mit jenen von Zeichen, bei denen keine bildverbessernden Maßnahmen Anwendung fanden (Tabelle 5.3), fällt auf, dass Antialiasing trotzdem keine wesentliche Reduzierung der Maße zulässt.

Tabelle 5.5: Mindestgrößen bildverbesserter Positionssignaturen

Positionssignatur	Kriterium für Maß	Maße bei Schwarz-Weiß-Kontrast in Bildpunkten	Grafik	Bildpunktmaß bei farbigen Zeichen oder farbgetöntem Grund mit großem Tonwert- und Farbgewichtsunterschied		Grafik	
				großem Tonwert- und Farbgewichtsunterschied	geringem Tonwert- und Farbgewichtsunterschied	a*	b**
Kreisscheibe	Durchmesser	8	●	8	10		
Kreis	Durchmesser	10	○	10	12		
Dreieck, hohl	Seite	10	△	10	12		
Dreieck, gefüllt	Seite	10	▲	10	12		
Bildhaftes Zeichen	Höhe x Breite	15 (-20) x 10 (15)		20 x 15 (-20)	verschieden (110 - 130%)*		

* - für großen, ** - für geringen Tonwert- und Farbgewichtsunterschied, *** des Wertes bei großem Tonwert- und Farbgewichtsunterschied

Bei gekrümmten Linien ist die Bildverbesserung durch Antialiasing deutlich. Nicht nur der Treppeneffekt, sondern auch richtungsabhängige Intensitätsunterschiede werden ausgeglichen und die Abhängigkeit von der Lage in der Bildpunktmatrix reduziert. Bei Linien in den Richtungen 0° und 90° bewirkt Antialiasing gewöhnlich eine das Bild störende Unschärfe (vgl. Kapitel 4.6).

Die Vermeidung verschiedener Intensitäten erlaubt die Verringerung des Mindestmaßes. Die Linienstärke von einem Bildpunkt ist für gekrümmte Linien und nicht in der Richtung 0° und 90° verlaufende Geraden ausreichend. Abbildung 5.3 verdeutlicht die Wirkung von Antialiasing auf Linien.

Der Abstand zwischen Linien, der ohne Antialiasing mit zwei Bildpunkten angegeben wurde, muss unbedingt bewahrt werden. Eine Verringerung wie bei der Linienstärke ist nicht möglich, da die Unschärfenbildung an den Linien Verschmelzungen verursacht. Eine Vergrößerung des minimalen Abstands auf drei Bildpunkte erscheint angemessen.

Bei gefüllten Flächen ohne Kontur wirkt die Bildverbesserung weniger stark. Antialiasing wird dort nur an der äußeren Begrenzung der Fläche wirksam. Die Größen können nicht verkleinert werden (Abbildung 5.4, vgl. auch Abbildung 5.2).

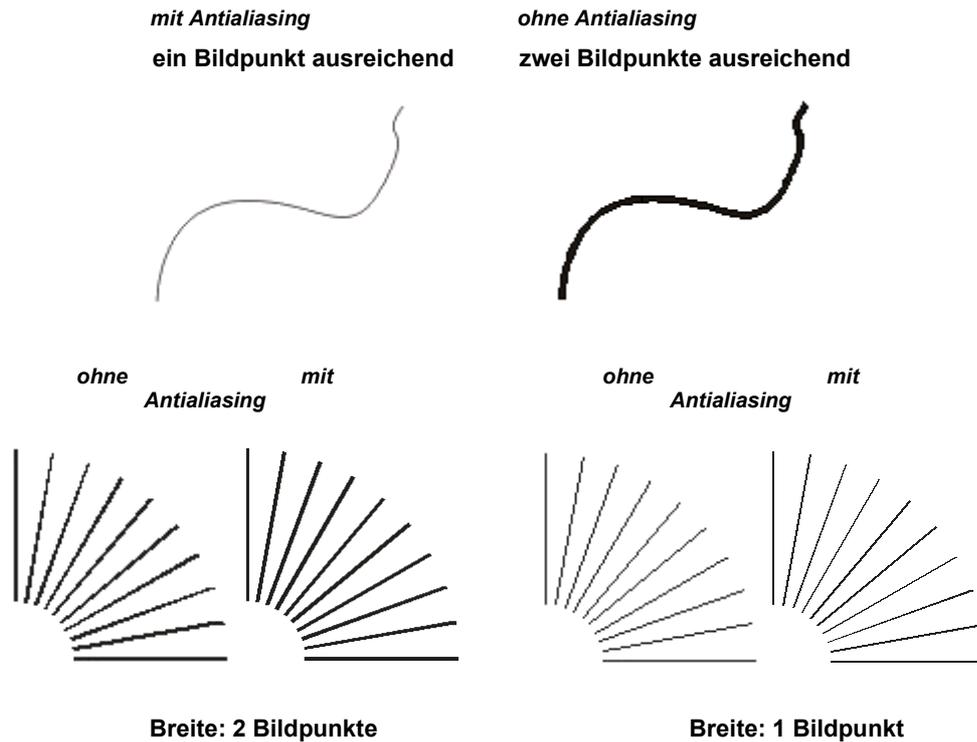


Abbildung 5.3: Wirkung von Antialiasing auf Linien verschiedener Richtung

Auf die Größe von Flächensignaturen (Muster) hat Antialiasing kaum Einfluss, da zu bevorzugende, lineare Musterbestandteile keine Bildverbesserung erhalten.

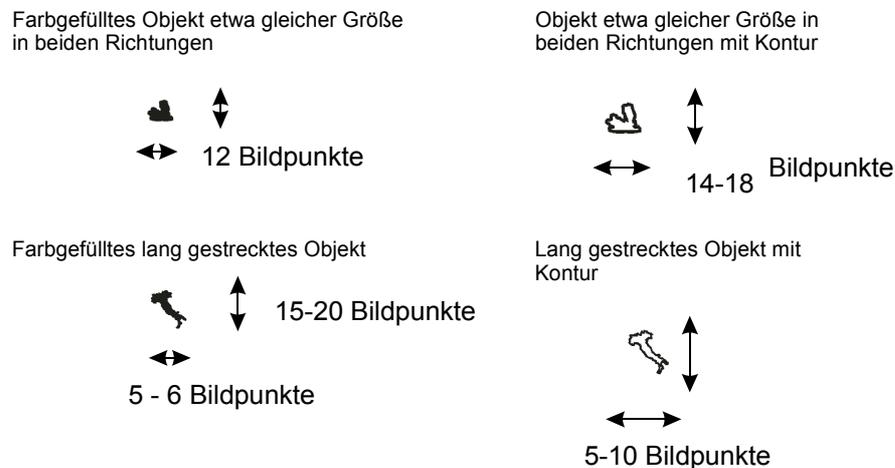


Abbildung 5.4: Mindestgrößen von Flächen unter Anwendung bildverbessernder Maßnahmen (vgl. Abbildung 5.2)

Bei Schrift wirken Maßnahmen der Bildverbesserung besonders deutlich an Buchstaben, da bei ihnen viele grafische Ausprägungen (Kurve, Kreis, Gerade) anzutreffen sind. Die Größe kann bei Anwendung von Antialiasing für serifenlose Schriften fetten Schnitts deutlich, für Schriften normalen Schnitts ein wenig reduziert werden. Im folgenden Beispiel werden Schriften in ihrem Mindestmaß mit und ohne Bildverbesserung nebeneinander gestellt.

ohne Bildverbesserung

Neubiberg
Neubiberg
 14 Bildpunkte

mit Bildverbesserung

Neubiberg 12 Bildpunkte
 Neubiberg
Neubiberg 10 Bildpunkte
Neubiberg

Trotz der guten Lesbarkeit der Schriften geringen Grades wirkt auch dort die fehlende Randschärfe störend. Die Mindestgröße fetter Schriften wird von GÖTZ (1998) mit 2,5 mm (etwa 10 Bildpunkte) angegeben. Die Schriften sind in den Größen 2,5 mm bzw. 3 mm zwar lesbar, es ergibt sich jedoch kein ausgewogenes, scharfes Schriftbild. Die Verringerung der minimalen Höhe der Großbuchstaben bezieht sich allein auf parallel zur Bildpunktmatrix liegende Schrift.

TURTSCHI (2000) schlägt vor, dass Schriften erst ab einem Schriftgrad von 4 mm bis 5 mm (16-20 Bildpunkte) geglättet werden sollen. Er begründet dies mit dem hohen Anteil an Unschärfe bei kleinerer Schrift. Dies ist jedoch nicht allein in Abhängigkeit von einem bestimmten Schriftgrad darstellbar. Entscheidend ist dagegen, ab welchem Grad die Schrift in einer Strichstärke von zwei Bildpunkten wiedergegeben wird. Für fette Schriften ist das bereits bei kleinerem Schriftgrad als bei Schriften normalen Schnitts der Fall. Der Anteil der Unschärfe an den Buchstaben fetten Schriftschnitts ist kleiner als bei gleich großer Schrift normalen Schnitts, so dass fette Schrift bildverbessert auch in kleineren Graden, etwa bei 3 mm bis 3,5 mm (12 – 14 Bildpunkte), lesbar ist.

Die folgenden Beispiele (vgl. auch BRUNNER 2001) stellen nicht bildverbesserte rasterkonvertierte Schrift (links) und mit Antialiasing bearbeitete Schrift (rechts) fetten und normalen Schnitts nebeneinander. Beim Schriftgrad von 10 Bildpunkten ist die ungeglättete Schrift besser lesbar. Bei 12 und 14 Bildpunkten Schriftgrad leidet die geglättete Schrift vor allem unter den ungleichmäßigen Buchstabenabständen, die erhöht werden können, weniger unter ihrer eigenen Unschärfe.

10 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz	10 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
12 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz	12 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
14 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz	14 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
16 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz	16 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
10 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz	10 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
12 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz	12 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
14 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz	14 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
16 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz	16 Bildp.	abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

5.1.5 Mindestmaße für größeren Betrachtungsabstand

Ein größerer Betrachtungsabstand ergibt sich, wenn an Stelle von Monitoren üblicher Bilddiagonalen, Bildträger mit größeren Darstellungsflächen verwendet werden. Die Betrachtung kartografischer Darstellungen als projizierte Bilder ist ein solcher Fall. Ein Äquivalent aus der konventionellen Kartografie dafür ist die Wandkarte. Bei ihr werden Mindestgrößen dem Betrachtungsabstand angepasst. Für kartografische Darstellungen, die durch Datenprojektion abgebildet werden, gelten ähnliche Beziehungen. Der Projektor überträgt aber lediglich die Bildpunktmatrix vergrößert auf die Projektionsfläche. Die Erweiterung der Aussagen zu Mindestmaßen ist für diesen Fall nicht erforderlich. Die Bildpunktgröße und die Größe des projizierten Bildes stehen zum Betrachtungsabstand in linearer Beziehung. Der größere Betrachtungsabstand bewirkt danach bei den meisten Projektionstechniken keine Abmilderung der störenden Struktur der Bildpunktmatrix. Eine Reduzierung der Sichtbarkeit der Bildpunktmatrix auf der Projektionsfläche erlaubt jedoch die DLP-Projektionstechnik (vgl. Abschnitt 3.7.1, YODER 1997).

Für ein Bildformat von 2,80 m x 2,10 m bei 1 024 x 768 Bildpunkten ergibt sich eine Bildpunktgröße von etwa 2,7 x 2,7 mm² auf der Projektionsfläche. Ausgegangen von einer Mindestlinienstärke von zwei Bildpunkten resultiert in der Projektion für den Betrachtungsabstand von 5 m bei horizontalem

oder vertikalem Linienverlauf die Linienstärke von 5,4 mm. Die notwendigen Betrachtungsentfernungen für ein 2,80 m breites Projektionsbild werden in die Gleichung zur Bestimmung der Sehschärfe eingesetzt. Zur Berechnung wird eine der Formel (2.4.3) ähnliche Beziehung verwendet. Im Gegensatz zu (2.4.3) muss hier der Tangens des Betrachtungswinkels einfließen, da es zwischen den Produkten aus Betrachtungsabstand und Bogenmaß des Winkels bzw. aus Betrachtungsabstand und Tangens des Winkels wegen des großen Abstands zu nicht vernachlässigbaren Abweichungen kommt.

$$a = y \tan \alpha \quad (5.2.1)$$

Dabei sind: $\alpha = 1'$, $y = 4\ 200\ \text{mm}$ bis $16\ 800\ \text{mm}$ (minimaler bis maximaler Betrachtungsabstand nach ergonomischer Empfehlung, 1,5fache – 6 fache Bildbreite)

Für die Linienstärke und Größe von Details ergeben sich $a_{min} = 1,2\ \text{mm}$ für den Betrachtungsabstand von 1,5facher Bildbreite und $a_{max} = 4,9\ \text{mm}$ für 6fache Bildbreite. Die Werte liegen unterhalb der kartografischen Mindestgröße (5,4 mm, s. o.), die sich aus den Beschränkungen der Bildpunktmatrix ergibt. Für Projektionen ist danach keine Erweiterung der Aussagen zu kartografischen Mindestmaßen erforderlich.

Auf Grund der fast linearen Beziehung zwischen Sehwinkel und Betrachtungsabstand erreicht die Aussage zu Projektoren Allgemeingültigkeit für verschiedene Bildgrößen im Rahmen sinnvoller Betrachtungsabstände.

5.2 Gestaltung

In den folgenden Abschnitten werden für topografische Karten Gestaltungsvorschläge erarbeitet. Diese Vorschläge orientieren sich an der Gestaltung konventioneller Karten und an den festgelegten Mindestgrößen. Folgender Inhalt topografischer Karten wird berücksichtigt:

- Situationsdarstellung (Siedlung, Gewässer, Bodenbedeckung, Verkehrswege, Kommunikation, Einzelobjekte)
- Relief
- Grenzen
- Schrift

Zum Zwecke der besseren Übersicht wird den Bestandteilen der Situationsdarstellung jeweils ein eigener Abschnitt (5.2.2 bis 5.2.10) zugewiesen. Für die Gestaltung sind grafische Variationen von Farbe und Tonwert von besonderer Bedeutung. Sie werden deshalb der Betrachtung der Kartengestaltung vorangestellt.

5.2.1 Farbe und Tonwert

Die Verwendung von Farben und Tonwerten ist bei kartografischen Darstellungen an Bildschirmen keinen technischen Beschränkungen wie bei Druckverfahren unterlegen. Bedingt durch die Bilddarstellungstechnik, gibt es bei Monitoren keine Vortäuschung eines gleichmäßigen Flächentons im reproduktionstechnischen Sinn. Die Wiedergabe von Halbtönen, die nicht aus dicht nebeneinander liegenden kleinen Punkten simuliert werden, ist möglich. Alle Tonwerte werden dennoch simuliert, da die Farben der dicht benachbarten Sub-Pixel bei üblichem Betrachtungsabstand wie bei gedruckter Grafik für das Auge miteinander verschmelzen (Eine unsimulierte Halbtonwiedergabe ist bei Projektionstechniken, z. B. bei DLP-Projektoren, möglich. Dabei werden die Anteile der Grundfarben auf der Projektionswand übereinander, nicht nebeneinander, gelegt, vgl. auch Kapitel 3.7.). Auch bei geringer Sättigung erscheinen die Farben jedoch als volle Flächenfärbung, da sie aus den flächenhaften Bildpunkten ungerastert gebildet werden.

Aus der großen Anzahl von Farben, die im RGB-Modell gemischt werden können, ergibt sich für die Kartografie kein großer Nutzen, da minimale Farbdifferenzen, ab welchen zwei Farben eindeutig unterscheidbar sind, eingehalten werden müssen. Zwischen hellen Farben erweisen sich Unterschiede von mindestens 20%¹¹ (51)¹² in einer der Grundfarben erforderlich. Zwischen dunkleren Farben, das heißt ab etwa 40% Tonwert des die Farbe bestimmenden Farbanteils, sollte dieser Unterschied höher liegen, und zwar bei mindestens 40 % (102). Unter dieser Bedingung können höchstens zwei dunkle Töne einer Farbe eingesetzt werden. Dieser Grundsatz ist auf andere Farben übertragbar. Nur für Gelb stehen weniger Töne zur Verfügung. Insgesamt können in der Karte drei bis vier Tonwerte der Grundfarben, ebenso viele der Mischfarben und vier Grauwerte¹³ verwendet werden.

Zur Wahrnehmung von Tonwertunterschieden an Kathodenstrahlröhren liegen bereits Erkenntnisse vor. CHU (1997) äußert sich sowohl zur Erkennbarkeit verschiedener Graustufen als auch zu jener von Farbstufen und unterscheidet dabei zwischen gerade noch erkennbaren Unterschieden im Tonwert (*jnd* – *just noticeable difference*) und kleinsten praktisch anwendbaren Unterschieden (*lpd* – *just practical difference*, STEVENS 1957, zitiert in CHU 1997). Er testet die Grauwertskala

10% (RGB 229) - 25% (192) - 40% (154) - 55% (115) - 70% (77),

die in einigen einfarbig gestalteten Grafiken eingesetzt wird, für Kathodenstrahlröhren und stellt deren Eignung fest. Andere fünf- bzw. sechsstufige Grauwertskalen sind

8% (RGB 236) - 22% (200) - 36% (164) - 50% (128) - 64% (92) und

9% (RGB 234) - 23% (197) - 37% (161) - 51% (125) und 65% (90).

Bei diesen Skalen ist auffällig, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Stufen innerhalb einer Skala bei 15% (38) bzw. 14% (36) liegen. Dieser Unterschied wächst bei steigendem Tonwert nicht. Die visuelle Differenz bleibt deshalb nicht konstant, sondern nimmt mit zunehmendem Grau- bzw. Farbwert ab. CHU (1997) stellt auch 11-stufige Skalen auf, deren einzelne Stufen am Bildschirm zum Teil schlecht unterscheidbar sind. Dies gilt wohl auch für konventionelle Zeichenträger.

MORGENSTERN (1974) entwirft drei- bis achtstufige *physiologisch gleichabständige* Tonwertskalen für den Druck. Am Bildschirm sind diese bis zur siebenstufigen Skala ebenfalls gut lesbar. Für aneinander grenzende Halbtöne ist ihre Verwendung geeignet. Der hellste Tonwert liegt bei 6 %. Die hellste Stufe der achtstufigen Skala, der MORGENSTERN den Tonwert 4 % zuweist, ist jedoch am Bildschirm vor weißem Hintergrund schlecht erkennbar.

Grafikbeispiel „Farbskalen“ auf dem beiliegenden Datenträger zeigt einige der Farbreihen. Zum Vergleich ist den Skalen von MORGENSTERN eine solche mit dem Tonwertunterschied von 10% (26) beigelegt. Die visuelle Trennung benachbarter Stufen ist bei dieser Skala nicht problemlos möglich. Die Skala kann jedoch unter Zuhilfenahme von gedruckten Farbtafeln zur Überprüfung der Farbdarstellung des Bildschirms verwendet werden (vgl. auch Hinweis auf S. 59, Fußnote 10).

Die Farbwahrnehmung an Bildschirmen verschiedener Techniken ist noch weitgehend unerforscht, zumal Abhängigkeiten von Grafikkarte und vom einzelnen Monitorgerät eine bedeutende Rolle spielen und allgemein gültige Aussagen nicht zulassen. Unterschiede sind jedoch durch verschiedene Kontrastverhältnisse und Helligkeiten der Bildschirmstechniken anzunehmen. Untersuchungen zur Wahrnehmung von Farb- und Tonwertunterschieden am Bildschirm und auf Papier wurden bereits durchgeführt. CHU (1997) stellt dabei Unterschiede im Wahrnehmungsverhalten fest.

¹¹ Die Angabe in Prozent wurde wegen des besseren Verständnisses vom subtraktiven Farbmodell (CMYK) übernommen.

¹² Die Angaben in Klammern beziehen sich auf das RGB-Farbmodell auf einer Skala von 0 bis 255

¹³ grau = gleiche Anteile von rot, grün und blau

Die Abdunklung des Hintergrundes bewirkt die Vermeidung oder Verringerung des Überstrahlungseffekts (Kapitel 3.9). Ein geringerer Kontrast bewirkt auch eine Reduzierung der Bildstörung, da der Treppeneffekt schlechter sichtbar ist. Die auf dem Datenträger beiliegenden Kartenproben nutzen diesen Effekt, indem der Hintergrund gleichmäßig grau oder mit Reliefinformation, also durch Höhenschichten oder Schummerung, belegt wird (vgl. Abschnitt 5.2.8).

5.2.2 Siedlungsdarstellung

Konventionelle kartografische Darstellungsmittel für die Wiedergabe von Siedlungen und bebauten Flächen sind

- grundrisstreue Gebäude für großmaßstäbige Karten,
- grundrissähnliche Gebäudezeichen und Teilblockdarstellung für Karten mittlerer Maßstäbe,
- lagetreue Ortssignatur und Flächenkontur (Gesamtumriss) in Karten kleiner Maßstäbe (beide konkurrieren etwa im Maßstab 1:5 Mill. und in größeren Maßstäben) und
- vorwiegend Ortssignaturen in Karten kleinster Maßstäbe und

Daneben werden grundrisstreue Einzelgebäude in großen Maßstäben und im Maßstab 1:25 000 dargestellt.

Die Verwendung von *Gebäudezeichen und Teilblockdarstellung* für die Siedlungsdarstellung ist für die Bildschirmvisualisierung von Karten nur unter Verlust der Lesbarkeit möglich. Die hohen Mindestgrößen und die auflösungsbedingt stark eingeschränkte Detailerkennbarkeit lassen die grundrisstreue oder grundrissähnliche Siedlungsdarstellung mit Ausnahme in sehr großen Maßstäben nicht zu. Lediglich die Wiedergabe großer Einzelgebäude ist möglich.

Für nicht darstellbare Gebäudezeichen, welche die optimale, grundrisstreue Abbildung wären, muss eine alternative flächenhafte Darstellungsform verwendet werden. Mit der *Flächenkontur* werden Siedlungen in konventionellen Karten kleiner Maßstäbe abgebildet. Sie muss für die Gestaltung von Siedlungsflächen in der Bildschirmvisualisierung auch in großen und mittleren Maßstäben eingesetzt werden. Tabelle 5.6 zeigt verschiedene Konstellationen von Gebäudegruppierungen, in welchen Siedlungen meist durch Flächenkontur dargestellt werden sollten.

Siedlungsflächenkonturen werden in topografischen Karten in verschiedenen Farben (gelber, roter, violetter oder grauer Farbton) mit Kontur dargestellt. In die Bildschirmvisualisierung können davon rötliche Töne, violette oder graue Flächenfarben übernommen werden. Gelb eignet sich weniger. In kleinen und kleinsten Maßstäben kann der Vollton verwendet werden (Abbildung 5.5).

Die Darstellung einer Kontur für die Siedlungsfläche ist meist in mittleren Maßstäben möglich, vor allem wenn die Grafik mit Antialiasing bearbeitet wurde. Die Mindestlinienstärke von zwei Bildpunkten ist für die Kontur ausreichend. Die Farbe der Flächenfärbung in einem höheren Tonwert ist für sie geeignet (Abbildung 5.5). Die Flächenfarbe muss bei Nutzung einer Kontur gut erkennbar sein. Bei kleinen Flächen ist dies nicht immer möglich, so dass sich bei ihnen die Darstellung der Umgrenzung verbietet.

Tabelle 5.6: Darstellung von Siedlungsflächenkontur und großer Einzelgebäude in Karten für die Bildschirmvisualisierung

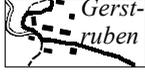
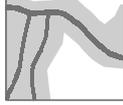
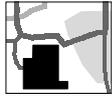
Siedlungsdarstellung in topografischen Karten	Gestaltungsvorschlag für eine Karte in der Bildschirmvisualisierung
Darstellung von Gebäuden (großmaßstäbig) 	 nur Kennzeichnung durch Beschriftung (Auswahl, großmaßstäbig)
Darstellung von Gebäudezeichen (mittelmaßstäbig) 	 Flächenkontur (groß-, mittel- und kleinmaßstäbig)
Darstellung von Gebäudezeichen und Teilblockdarstellung (mittelmaßstäbig) 	 Flächenkontur (groß-, mittel- und kleinmaßstäbig)
Darstellung großer Einzelgebäude (groß- und mittelmaßstäbig) 	 Darstellung großer Einzelgebäude (großmaßstäbig und 1:25 000)



Abbildung 5.5: Siedlungsflächenkontur (Gesamtumriss)

Im großen und mittleren Maßstabbereich können durch Verwendung zweier Flächenfarbtöne verschiedene Bebauungsdichten unterschieden werden. Ein dunkler Farbton gibt über dichte Bebauung, ein hellerer über aufgelockerte und offene Bebauung Auskunft. Großmaßstäbige Karten erlauben eine weitere Differenzierung der Bebauungsdichten. Industriekomplexe bzw. -anlagen können durch eine andere Farbe gekennzeichnet werden. Violett ist sowohl bei grauer als auch bei rötlicher Siedlungsdarstellung gut erkennbar. Die Wahl dieser Farbe erfolgt in Anlehnung an die aus dem Amtlichen Topografisch-Kartografischen Informationssystem (ATKIS) abgeleitete *Digitalen Topografischen Karte* (vgl. Kapitel 5.3, man beachte, dass im Sprachgebrauch teilweise auch digitalisierte topografische Karten als digitale topografische Karten bezeichnet werden.).

Zur Verdeutlichung der Nutzung flächenhafter Siedlungsdarstellung dienen die Kartenproben zum großen, mittleren und kleinen Maßstabbereich auf dem beiliegenden Datenträger. Die Siedlungsfläche erfordert von der wiederzugebenden Ortschaft eine bestimmte Größe bzw. Ausdehnung. Diese Größe muss berücksichtigen, dass die Siedlung von anderem Karteninhalt überlagert wird und trotzdem noch gut sichtbar sein muss. Zu kleine und zu schmale Siedlungen müssen gegebenenfalls in Ortssignatur dargestellt werden. Dieses Vorgehen muss dann auch auf andere Siedlungen, die etwa gleicher Größe sind, übertragen werden, auch wenn dort keine Überlagerungen mit sonstigem Inhalt auftreten.

Ortssignaturen haben für die Bildschirmvisualisierung von Siedlungen in mittleren und kleinen Maßstäben große Bedeutung. In beiden Maßstabbereichen werden sie parallel zur Flächenkontur verwendet. Für ihre Gestaltung kommen nur einfache geometrische Formen in Frage.

Die Größe der Ortssignatur gibt über die Bedeutung der dargestellten Siedlung Auskunft. Verschiedene Signaturgrößen müssen deutlich voneinander unterscheidbar sein. In konventionellen Karten ist die Größe (Fläche) der Signatur mitunter proportional zu der von ihr verkörperten Menge (z. B. zum Mittelwert der zugehörigen Größenklasse) bzw. entspricht der Bedeutung des mit der Signatur dargestellten Objekts. Bei Übertragung auf die Bildschirmvisualisierung kann diese Proportionalität bei Wahl der gleichen Größenklassen verloren gehen, wenn Signaturen bedeutender Objekte nicht übermäßig groß dargestellt werden sollen. Für die Realisierung einer mehrstufigen Größenvariationen müssen die Durchmesser von Kreisen und die Seitenlängen von Quadraten mindestens zwei Bildpunkte größer als die der vorangegangenen Stufe sein. Tabelle 5.7 zeigt dafür Beispiele.

Tabelle 5.7: Minimale Größenunterschiede einer Klassifizierung für Ortssignaturen kartografischer Darstellungen für Bildschirme

Signatur	Grafik/Größe			Signatur	Grafik/Größe		
Kreise, gefüllt				Quadrate, gefüllt			
Bildpunkte:	17	14	12	Bildpunkte:	11	9	7
Kreise, hohl				Quadrate, hohl			
Bildpunkte:	17	15	12	Bildpunkte:	11	9	7

Ein kleinmaßstäbiges Kartendetail mit verschiedenen Darstellungsvarianten für Siedlungen in Ortssignatur zeigt Abbildung 5.6. Dort sind die kleinsten Signaturen in ihren Mindestgrößen dargestellt. Die Größen der Ortssignaturen können, vor allem wenn die Signaturen konzentriert auftreten, wegen der zunehmenden Kartenbelastung nicht angehoben werden.

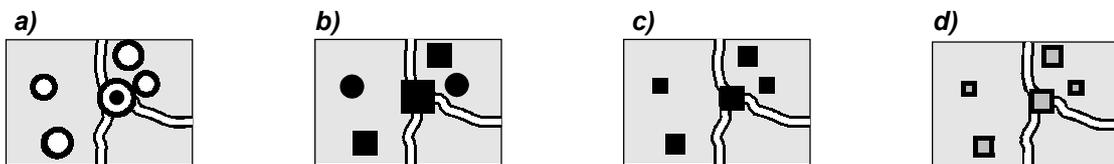


Abbildung 5.6: Ortssignaturen

Zu Abbildung 5.6: Auf Grund der höheren Mindestgröße von Kreisen bzw. Kreissignaturen sind Ortssignaturen als Kreise deutlich größer als die äquivalenten Stufen bei quadratischen Ortssignaturen. Dies wird beim Vergleich der Abbildungen 5.6a) mit c) oder d) deutlich. Die Kartenbelastung (einfarbig *Schwarzlast*) steigt auch durch die Nutzung gefüllter Signaturen. Das zeigen die Beispiele b) und c) im Vergleich mit a) und d). Im Beispiel b) werden quadratische Signaturen und Kreise kombiniert. Dadurch geht der unmittelbare Größenvergleich teilweise verloren, wenn die Signaturgrößen nicht angepasst werden. Zumindest die große quadratische Signatur muss im Vergleich zu den Abbildungen c) und d) vergrößert werden. Die ansprechendste Grafik gibt Abbildung 5.6d). Dort wurden die quadratischen Signaturen, deren Gestalt nicht von der Lage in der Bildpunktmatrix abhängig ist, mit der Farbe, in der auch die Siedlungsflächen dargestellt werden sollten, gefüllt.

Die grafische Variation der Größe eignet sich zur Gestaltung von Ortssignaturen. Verschiedene Formen können kaum verwendet werden, da Quadrate die geringste Bildstörung aufweisen und deshalb primär eingesetzt werden sollten. Die Abbildung mit Kontur und Füllung oder der Verzicht auf die Kontur ist zu überdenken. Die Darstellung ohne Kontur erscheint für kleine und kleinste Maßstäbe sinnvoll. Ortssignaturen können in verschiedenen Farben und Tonwerten gestaltet werden. In Frage kommen sowohl Vollton als auch weniger intensive Farben. Die mittel-, klein- und kleinmaßstäbigen Kartenproben auf dem beiliegenden Datenträger zeigen Siedlungen in Ortssignatur (Kartenproben 6 bis 17).

Die Darstellung großer *Einzelgebäude* in großen Maßstäben und im Maßstab 1:25 000 ist auch dann sinnvoll, wenn die Siedlung nicht durch Gebäudedarstellung oder Gebäudezeichen abgebildet werden kann. Sie lässt sich bei Darstellung durch Flächenkontur mit der Wahl eines höheren Tonwertes, einer anderen Farbe oder des Volltons realisieren. Die Darstellung sollte nur erfolgen, wenn die Größe des Gebäudes die Identifizierung eindeutig zulässt.

Ein darstellbares Einzelgebäude ist in Tabelle 5.6 abgebildet. In diesem Beispiel wird die Wiedergabe durch die Lage des Gebäudes in der Bildpunktmatrix begünstigt. Die Darstellungsqualität kommt der gedruckter Karten nahe. Auf die Beschriftung ist jedoch zu verzichten, da der erforderliche Schriftgrad das Gebäude übermäßig betont.

Allgemein ist die Darstellung von Einzelgebäuden nur in großen Maßstäben möglich. Die farbliche Gestaltung ist vom Hintergrund bzw. von der Gebäudfunktion abhängig zu machen. Verschiedene Gebäudenutzungen können durch unterschiedliche Farben (z. B. schwarz, rot) zum Ausdruck gebracht werden. Die auf dem Datenträger beiliegenden großmaßstäbigen Kartenproben zeigen violett dargestellte Industrieflächen mit schwarz gestalteten Einzelgebäuden. Bei ihnen ist der Treppeneffekt wegen des geringen Kontrasts und der Größe der Gebäude wenig störend.

Dominierende Einzelgebäude können noch im Maßstab 1:25 000 wiedergegeben werden. Die Kartenproben 4 und 5 zeigen jeweils das einzelne Gebäude aus Tabelle 5.6. Die Farbgebungen des Gebäudes und des Hintergrundes (Siedlungston) sind aufeinander abzustimmen. Die Unterscheidung der Gebäudenutzungen kann über die farbliche Gestaltung vorgenommen werden.

Zusammenfassung der Gestaltungsvorschläge:

Für die Visualisierung der Siedlungsdarstellung topografischer Karten am Bildschirm eignen sich folgende Gestaltungsmittel:

- Gebäudezeichen ohne Kontur für die Darstellung großer Einzelgebäude in großen Maßstäben und im Maßstab 1:25 000,
- Flächenkontur in Karten großer, mittlerer und kleiner Maßstäbe (Unterscheidung verschiedener Bebauungsdichten und -arten in großen und mittleren Maßstäben),
- Ortssignaturen in mittleren, kleinen und kleinsten Maßstäben.

Die geometrische Genauigkeit konventioneller Karten, die bei der Siedlungsdarstellung durch Grundrisstreue und grundrissähnliche Wiedergabe deutlich wird, geht in der Bildschirmvisualisierung verloren. Grundrisstreue können nur große Einzelgebäude in großen Maßstäben und im Maßstab 1:25 000, dort lediglich Auswahl vereinzelter Gebäude, wiedergegeben werden. Alle übrigen Gestaltungsmittel führen zur lagetreuen Darstellung (Flächenkontur, Ortssignatur). Insgesamt erfordert die Siedlungsdarstellung im Vergleich zur konventionellen Karte in der Bildschirmvisualisierung eine Vereinfachung.

5.2.3 Gewässerdarstellung

Die konventionelle Gewässerdarstellung erfolgt durch

- lagetreue (Mittel-)Linien fließender Gewässer und von Kanälen,
- Grundrisstreue oder Grundrissähnliche Flächen (Uferlinien, Seen und Meere) in allen Maßstabsbereichen und
- Grundrisstreue oder -ähnliche Doppellinien (Flüsse) mit Darstellung der Wasserfläche in allen außer kleinsten Maßstäben.

Signaturen werden teilweise für Kanäle und periodisch fließende Gewässer eingesetzt. Liniengewässer werden in mehrfarbigen Karten in blauem (cyan) Vollton wiedergegeben. Für Flächenfarben werden helle Cyantöne verwendet.

In der Bildschirmvisualisierung können Wasserläufe durch *Linien* blauen Volltons dargestellt werden, wenn ihre Größe die Wiedergabe der Gewässerfläche nicht zulässt. In konventionellen Karten wird die Stärke durch Linien dargestellter Flüsse zur Verdeutlichung der Gewässerbreite kontinuierlich geändert. Diese Art der Darstellung kann durch Teilung der Linie in mehrere Linienstücke in die Kartengrafik für Bildschirme übernommen werden. Allerdings ist die Breitenänderung nur in Stufen von Bildpunkten möglich. Die am schmalsten darzustellenden Abschnitte dürfen die minimale Linienstärke nicht unterschreiten (zwei Bildpunkte ohne Bildverbesserung, ein Bildpunkt bei Antialiasing, vgl. Abschnitt 5.1.4). Abbildung 5.7 *Fluss, Linie* zeigt dazu Beispiele.

Für periodisch fließende Gewässer eignen sich unterbrochene Linien wie in konventionellen Karten nicht, da sie einem starken Treppeneffekt unterliegen. Solche, gewöhnlich durch Linien wiedergegebene Gewässer, können im Vergleich mit permanent fließenden Gewässern mit geringerem Tonwert am Bildschirm dargestellt werden. Abbildung 5.7 *See und Zuflüsse* zeigt Beispiele.

Die Kennzeichnung eines Liniengewässers als Kanal sollte durch grafische Triviale erfolgen, deren Gestalt unabhängig von ihrer Lage in der Bildpunktmatrix ist. Abbildung 5.7 *Kanal, Linie* zeigt dafür ein Beispiel, in welchem die Kennzeichnung durch quadratische Zeichen erfolgt. Kanäle können, wenn die Unterscheidung zu Flüssen gewünscht ist, so durch eine lineare Signatur dargestellt werden. Die Verwendung von Liniensignaturen für die Bildschirmvisualisierung ist jedoch die Ausnahme.

Flächengewässer sind neben Seen und Meeren auch als Fläche dargestellte Wasserläufe und Kanäle. Die Beispiele *See – Fluss, Fläche und Kanal, Fläche* in Abbildung 5.7 zeigen dafür Gestaltungsvorschläge. Die Darstellung der Wasserfläche kann wie in konventionellen Karten durch einen hellen Blau- oder Cyanton (20 % Cyan = RGB 204 255 255) erfolgen. Auf Konturen sollte verzichtet werden. In kleinen und kleinsten Maßstäben ist die Verwendung des blauen Volltons zu überdenken.

Periodisch Wasser führende, flächenhafte Gewässer können in Linienschraffur dargestellt werden. Die Schraffur sollte horizontal verlaufen und muss in die Bildpunktmatrix eingepasst werden. Unter dieser Einpassung ist eine Form der speziellen Bildverbesserung zu verstehen, die es ermöglicht, dass bei Verschiebung oder Maßstabsänderung alle Schraffurlinien immer in die gleiche Gestalt rasterkonvertieren. Voraussetzung dafür ist, dass die Breite der Schraffurlinien und ihr Abstand im Bildpunktmaß festgelegt werden (Abbildung 5.7 *Schraffur*). Die Strichstärke muss bei zwei Bildpunkten oder höher liegen, der Abstand der Schraffurbestandteile sollte mindestens ebenso groß oder um einen Bildpunkt größer sein. Ein ansprechendes grafisches Ergebnis ergibt sich, wenn die Schraffur aus weißen Linien über der Gewässerfarbe besteht (Abbildung 5.7 *See und See und Zuflüsse*). Weniger günstig ist die Darstellung der Schraffur in der Farbe der Liniengewässer. In diesem Fall ist die Wiedergabe der Kontur zwingend (Abbildung 5.7 *See*). An Stelle der Schraffur kann zum Ausdruck der Periodizität auch eine der im folgenden Abschnitt beschriebenen Unschärfedarstellung verwendet werden.

Zusammenfassung der Gestaltungsvorschläge:

Für die Visualisierung topografischer Karten am Bildschirm eignen sich für die Darstellung der Gewässer folgende Gestaltungsmittel:

- Linien und Flächen in allen Maßstäben und
- Linien- und Flächensignaturen für die Wiedergabe periodischer Wasserflächen und von Kanälen in großen, mittleren und vereinzelt in kleinen Maßstäben.

Mit diesen Gestaltungsmitteln vermischen sich grundrisstreue, grundrissähnliche und lagetreue Darstellungen. Die Lagetreue der Gewässer in konventionellen Karten bleibt bei Verwendung von Linien erhalten. Grundrisstreue oder –ähnlich werden alle Gewässerflächen abgebildet, obwohl ihre Kontur nicht dargestellt wird. Die Begrenzung des Gewässers ergibt sich aus seiner Fläche.

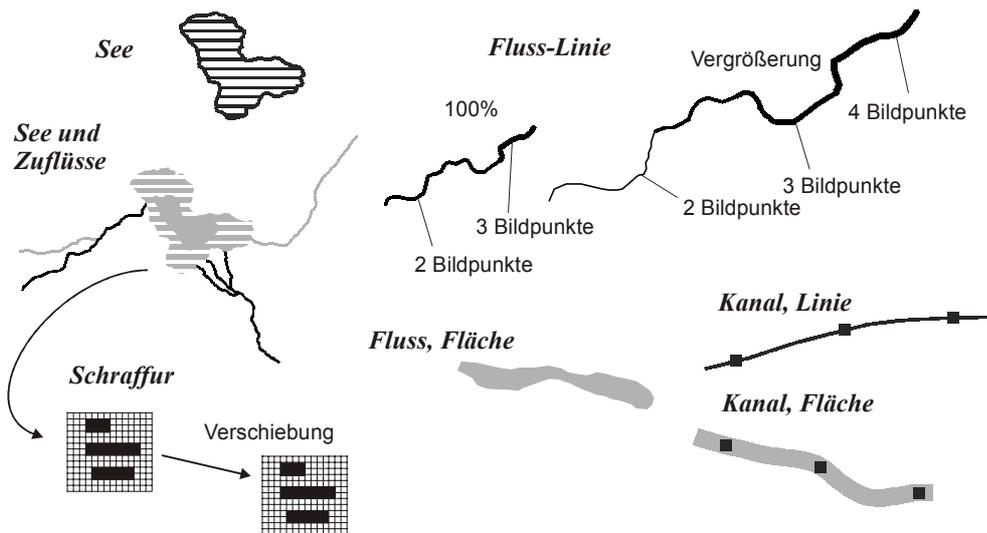


Abbildung 5.7: Gewässerdarstellung

5.2.4 Darstellung der Bodenbedeckung

Zur Bodenbedeckung gehören alle flächenhaften topografischen Erscheinungen natürlicher Herkunft und jene als Folge menschlichen Wirkens (HAKE/GRÜNREICH 1994) entstandenen. Am häufigsten tritt die Vegetationsdarstellung auf. Die Wiedergabe der Bodenbedeckung erfolgt in konventionellen Karten überwiegend durch

- Flächen und Flächensignaturen in allen Maßstabsbereichen.

Flächensignaturen sind meist Strukturraster, Signaturenraster oder Muster bildhafter Zeichen. Sie werden durch Linien oder Liniensignaturen abgegrenzt, obwohl die inhaltlich korrekte Angabe exakter Begrenzungen teilweise nicht möglich ist. Bezüglich der geometrischen Genauigkeit ist die Bodenbedeckungsdarstellung als grundrisstreu oder grundrissähnlich anzusehen. Die Wiedergabe der Bodenbedeckung erfolgt in konventionellen Karten sehr detailliert. Eine solch detaillierte Darstellung ist überwiegend historisch bedingt und für die Bildschirmvisualisierung nicht notwendig und teilweise auch nicht möglich.

Es wurde bereits deutlich, dass sich der Einsatz verschiedener Farben für die kartografische Darstellung am Bildschirm besonders eignet. Farbvariationen sind auch für die visuelle Trennung der *Vegetationsarten* von Bedeutung. Eine zweite, aber weniger bedeutsame Möglichkeit ist die Verwendung einfacher Linienmuster.

Wald sollte durch einen dunklen, bläulichen Grünton visualisiert werden. Die Unterscheidung zwischen den Holzarten kann durch verschiedene Farbtöne erfolgen. Sie ist jedoch nicht zwingend erforderlich, da der gewonnene Informationsgehalt gering ist. Grünflächen können in einer hellgrünen Flächenfärbung dargestellt werden. Landwirtschaftliche Nutzflächen sollten ohne Unterscheidung zwischen verschiedenen Kulturen einheitlich in heller Flächenfärbung (gelb, hellbraun) dargestellt werden.

Wegen der Vermeidung nicht notwendiger grüner Flächenfarben können zur weiteren Differenzierung (Moor, Bruch, Sumpf u. ä.) Muster angewandt werden. Lineare Musterbestandteile, die in die Bildpunktmatrix eingepasst werden, bieten sich an. Als Farbe eignet sich blau über der Farbe, in der Grünflächen zur Wiedergabe kommen, um die Assoziation mit der Gewässerdarstellung zu fördern.

Die Verwendung von Flächenfarben führt zu einer wesentlichen grafischen Vereinfachung der Karte im Vergleich zur Bodenbedeckungsdarstellung konventioneller Karten. Ziel dieser Gestaltung ist neben der besonderen Eignung der Farbvariation die Erlangung eines übersichtlichen Kartenbildes. In

Abbildung 5.8 werden Gestaltungsvarianten für die Darstellung der Bodenbedeckung in konventionellen Karten und Bildschirmkarten nebeneinander gestellt.

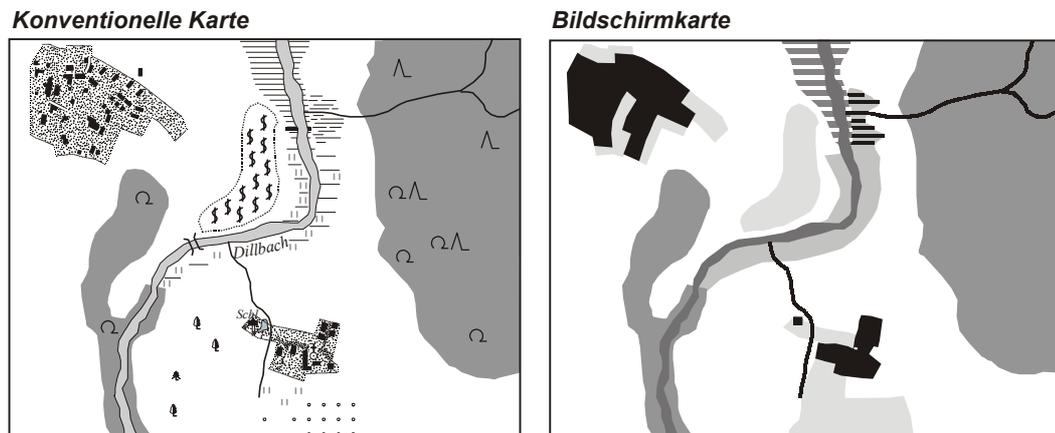


Abbildung 5.8: Bodenbedeckungsdarstellung

Vegetationsfreie Flächen sind alle Flächen ohne Pflanzenbewuchs, z. B. Halden, Bergbauflächen, Sand, Kies, Schutt und Geröll. In konventionellen topografischen Karten erhalten sie meist Musterfüllungen ungleichmäßig verteilter Musterbestandteile (Abbildung 5.9). Eine solche Darstellung ist für die Bildschirmvisualisierung wegen der Verschmelzung der Bestandteile nicht möglich. Die Darstellung einer Schraffur über einer Flächenfärbung kann in Karten großer Maßstäbe angewandt werden (vgl. großmaßstäbige Kartenproben). Am besten eignen sich wiederum Linienschraffuren (Abbildung 5.9, vgl. Hinweis in Abbildung 5.7). Den Mustern kann eine Flächenfarbe geringer Intensität hinterlegt werden. Die Flächenfarbe sollte dem Leser einen Hinweis auf das dargestellte Objekt geben (z. B. Industrieflächen – dunkles violett, Halden – hellviolett, darüber schwarze Schraffur).

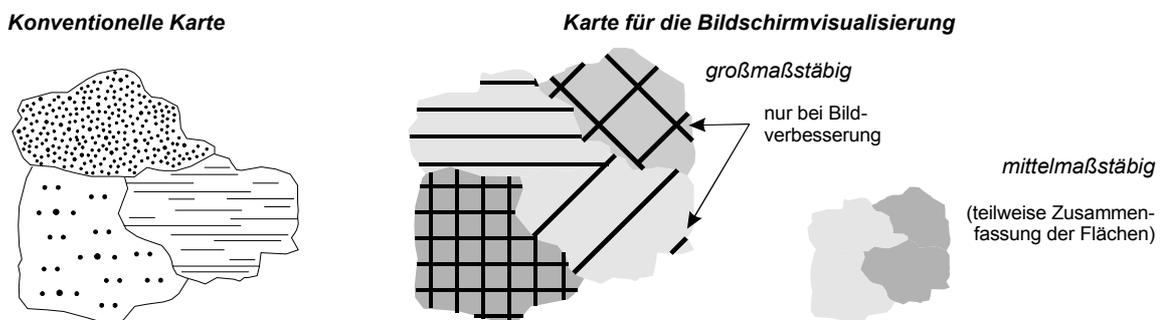


Abbildung 5.9: Schraffuren für die Darstellung vegetationsfreier Flächen

Die Nutzung des gleichen Musters in verschiedenen Richtungen ist lediglich dann sinnvoll, wenn sich die Richtungen auf 0° und 90° beschränken. Unter bildverbessernden Maßnahmen können außerdem 45° und 135° verwendet werden. Bei diesen Richtungen sind die Folgen der Rasterkonvertierung nicht sichtbar. Generell eignen sich Muster jedoch nur für größere Flächen.

In mittleren Maßstäben können Flächenfarben, vorzugsweise grau oder braun, verwendet werden. Eine differenzierte Darstellung der Flächen wie in großen Maßstäben ist nicht möglich, die Wiedergabe einer Kontur nicht sinnvoll.

Die konventionelle Kartografie bedient sich zur *Darstellung unscharfer Sachverhalte* bestimmter Gestaltungsmittel. Solche Mittel, die hauptsächlich in thematischen Karten angewandt werden, sind Verzahnung, Überlappung, besondere Kennzeichnung des Mischgebietes zweier Sachverhalte, bildhafte Flächensignaturen oder der geeignete Einsatz von Schrift (vgl. HAKE/GRÜNREICH 1994). Die beson-

dere Kennzeichnung des Misch- bzw. Übergangsbereichs wird mit bestimmten Darstellungsmitteln auch in topografischen Karten angewandt (Vegetations- und Siedlungsdarstellung).

Am Bildschirm ist es möglich, Unschärfe auch durch Unschärfe wiederzugeben. Beispiele dafür zeigt MACEACHREN (1992). Er drückt die Unschärfe durch Farbverläufe in Flächen und am Rand von Positionssignaturen aus. Abbildung 5.10 zeigt Beispiele für Unschärfeabbildungen, die sich für Darstellungen an Bildschirmen eignen. Die Wiedergabe von Farbverläufen wird durch die Nutzung unsimulierter Halbtöne ermöglicht. Die Unschärfedarstellung schränkt, ähnlich dem Antialiasing, den Treppeneffekt ein, ist aber für topografische Darstellungen nur eingeschränkt von Bedeutung.

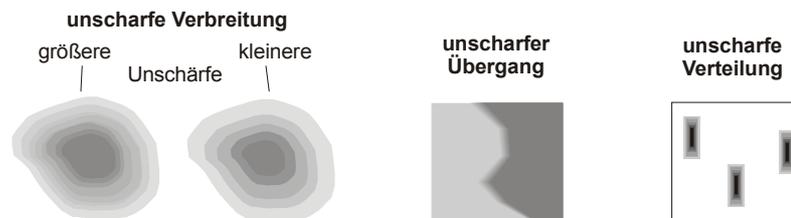


Abbildung 5.10: Möglichkeiten der Unschärfedarstellung

Die in Abbildung 5.10 gezeigten Unschärfedarstellungen sind auch für die Gestaltung konventioneller Karten verwendbar. Am Bildschirm sind die notwendigen Farbverläufe durch die Möglichkeit der Wiedergabe von Halbtönen jedoch wesentlich leichter realisierbar.

Zusammenfassung der Gestaltungsvorschläge:

Für die Visualisierung der Bodenbedeckung topografischer Karten am Bildschirm eignen sich folgende Gestaltungsmittel:

- überwiegend Flächenfarben für die Darstellung der Vegetation und Flächensignaturen für vegetationsfreie Flächen in großen Maßstäben und
- Flächenfarben in mittleren Maßstäben.

Die Bodenbedeckung wird gewöhnlich ohne Kontur dargestellt. Der Übergang von der Flächenfärbung zum Hintergrund bleibt jedoch erhalten. Die Darstellung der Bodenbedeckung behält die geometrische Genauigkeit der konventionellen Karte (Grundrisstreue bzw. -ähnlichkeit).

In Karten kleiner und kleinster Maßstäbe sollte die Bodenbedeckung, auch die des Waldes, nicht dargestellt werden. Beispiele zur Wiedergabe der Bodenbedeckung in Karten bieten die Kartenproben 1 bis 11 auf dem beiliegenden Datenträger. Hinzuweisen ist insbesondere auf die Kartenprobe 4, in der die *höhenabhängige Vegetationsstufendarstellung* angewandt wurde. Diese Verbindung zwischen Vegetations- und Reliefdarstellung wird im Abschnitt 5.2.8 behandelt.

5.2.5 Darstellung von Verkehrswegen

Konventionelle kartografische Gestaltungsmittel für die Darstellung von Verkehrswegen sind

- Linien, Liniensignaturen und Positionssignaturen in großen und mittleren Maßstäben und
- überwiegend Linien in kleinen und kleinsten Maßstäben.

Außerdem werden Verkehrsbauten in großen und mittleren Maßstäben durch Positionssignaturen dargestellt.

Die Wiedergabe von Verkehrswegen erfolgt bei Darstellung durch Liniensignaturen grundrissähnlich (im Maßstab 1:5 000 und größer grundrisstreue, vgl. HAKE/GRÜNREICH 1994). Positionssignaturen für die Darstellung von Bauwerken in großen und mittleren Maßstäben sind ebenso lagertreu wie die Wie-

dergabe von Verkehrswegen durch Linien in kleinen und kleinsten Maßstäben. Dies gilt auch für die Darstellung von Versorgungsleitungen, die meist durch Liniensignaturen erfolgt.

Abbildung 5.11 zeigt Gestaltungsvorschläge für die Wiedergabe von Verkehrswegen in der Bildschirmvisualisierung.

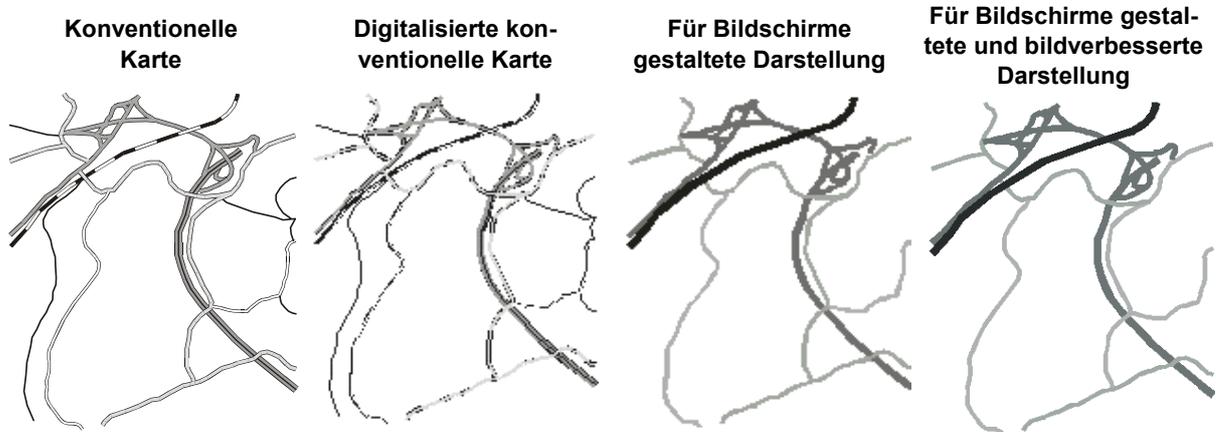


Abbildung 5.11: Darstellung von Verkehrswegen in konventionellen Karten und Karten am Bildschirm

Zu Abbildung 5.11: Beispiel *Konventionelle Karte* gibt die Verkehrswegedarstellung einer solchen Karte wieder. Die Klassifizierung von Straßen und Wegen erfolgt durch Verwendung von Linien und Liniensignaturen verschiedener Farben und Formen. Die rasterkonvertierte Version (*Digitalisierte konventionelle Karte*) zeigt die ausgeprägte Deformation der Grafik, die bei linearen grafischen Trivialen besonders deutlich wird. Varianten einer geeigneten Kartengrafik für Monitore geben die Abbildungen *Für Bildschirme gestaltete* und *bildverbesserte Darstellung* wieder. Die Lesbarkeit der Verkehrswegedarstellung für Bildschirme wird durch die Vereinfachung der Darstellung erreicht. Diese Vereinfachung geschieht durch die Nutzung von Linien an Stelle der von Signaturen. Sie ist aus zwei Gründen notwendig. Zum einen müssten die Randlinien der Signatur in der Mindestlinienstärke dargestellt werden. Die bandartige Füllung muss um einen oder zwei Bildpunkte breiter als die Randlinien sein. Wenn sie drei Bildpunkte stark ist, ergibt sich eine Signaturbreite von mindestens sieben Bildpunkten. Bei heute üblichen Bildpunktgrößen entspricht dies einer Signaturbreite von 1,8 mm. Zum anderen wirkt der Treppeneffekt an den Randlinien, die sich durch hohen Kontrast vom Hintergrund abheben, besonders stark.

Bei der Verkehrswegedarstellung durch Linien ergeben sich nur geringfügige Breitenänderungen zur Liniensignatur konventioneller Karten. Für Linien können die Farbe und die Stärke (Breite) variiert werden, um verschiedene Qualitäten auszudrücken. Prinzipiell können wesentlich mehr Linienfarben als in konventionellen Karten gemischt werden, da Beschränkungen von Druckverfahren nicht wirken.

Die Unterscheidbarkeit von Farben verdeutlicht Grafikbeispiel „Linienfarben“ auf dem beiliegenden Datenträger. Dort werden Gruppierungen farbiger Linien vor weißem und grauem Hintergrund gezeigt. Die verschiedenen Töne der Linien einer Farbe sind gut zu unterscheiden, die Tonwertdifferenzen zwischen den einzelnen Stufen ausreichend. Sie betragen bei Rot 20 bzw. 25% (in RGB: 51 bzw. 64) und bei Grün 18% (46) zwischen den niedrigen und über 50% (128) zwischen den hohen Tonwerten. Für Blau ergeben sich im Vergleich zu Grün ähnliche Werte. Die Linien der drei Liniengruppierungen heben sich von den beiden Hintergrundtonwerten verschieden gut ab. Der hellste Farbton und der graue Hintergrund haben einen ähnlichen Kontrast, so dass zwischen beiden schlecht zu unterscheiden ist. Dass dieser Effekt gerade bei Grün, der am wenigsten farbintensiven Grundfarbe, und Rot besonders deutlich ist, liegt am geringen Kontrast zwischen hellen Blautönen und Grau erzeugen-

den Farbanteilen. Dieses Grafikbeispiel belegt, dass der Umgang mit Linienfarben vor verschiedenen Hintergründen trotz der großen Anzahl an möglichen Farben schwierig ist.

Für die Verkehrswegedarstellung müssen Farben gewählt werden, deren Tonwert- und Farbgewichtsunterschied zu allen anderen Farben und Tonwerten deutlich ist. Rot und Orange eignen sich für die Wiedergabe von Straßen gut. Eisenbahnen können schwarz dargestellt werden.

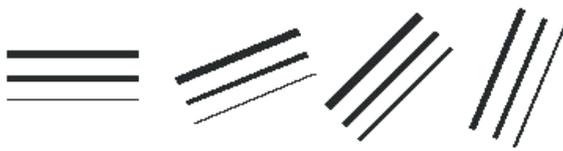


Abbildung 5.12: Minimale Größenunterschiede für eine Klassifizierung für Straßen

Die Bedeutung (Qualität) von Straßen kann durch Verwendung verschiedener Linienstärken, einer Größenvariation, unterstrichen werden. Die Richtungsabhängigkeit der Strichstärke ist jedoch zu beachten. Zur eindeutigen Erkennbarkeit des Größenunterschieds sollten verschiedene Stärken um zwei Bildpunkte voneinander abweichen. Abbildung 5.12 zeigt Beispiele. Bei der Linienrichtung von 45° (zweites Beispiel von rechts) wurden die drei Strichstärken jeweils um einen Bildpunkt erhöht. Beim Vergleich mit den anderen Linienrichtungen (0°, 30°, 60°) ist dies kaum auffällig.

Innerhalb von Siedlungen bündeln sich die abzubildenden Verkehrswege. Dabei ändert sich ihre Gestaltung in konventionellen Karten gegenüber jener außerhalb von Siedlungen. Gängige Darstellungsmethoden sind die Verkleinerung des Abstands von Doppellinien und die Nutzung anderer Farben. Die Veränderung der farblichen Gestaltung der Verkehrswege kann in geeignete Kartengrafiken für Bildschirme übernommen werden. Abbildung 5.13 zeigt zwei Ausschnitte einer konventionellen Kartengrafik und zwei Varianten für die Gestaltung der Bildschirmkartengrafik.

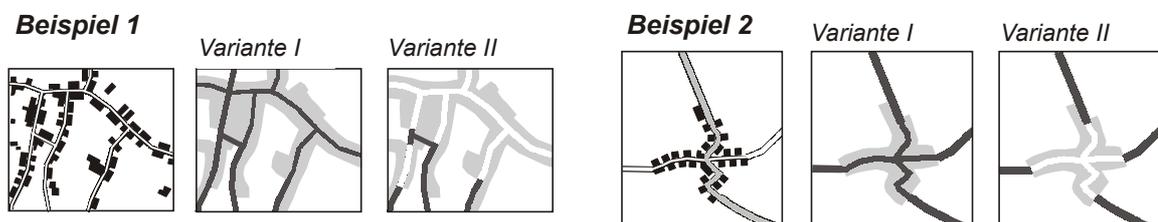


Abbildung 5.13: Verkehrswegedarstellung innerhalb von Siedlungen

Eisenbahnen sollten in großen, mittleren und kleinen Maßstäben durch schwarze Linien dargestellt werden. Im großen und mittleren Maßstabsbereich kann zwischen ein- und zwei- bzw. mehrgleisig unterschieden werden. Für die Darstellung mehrerer Gleise sollten in großen Maßstäben Doppellinien (vgl. großmaßstäbige Kartenproben, Abbildung 5.14), in mittleren Maßstäben verschiedene Strichstärken, verwendet werden.

Bahnhöfe können bei flächenhafter Siedlungsdarstellung durch eine quadratische Signatur wiedergegeben werden. Der Umriss ist schwarz und parallel zur Bildpunktmatrix, nicht zum Linienverlauf der Eisenbahnlinie, darzustellen. Abbildung 5.14 zeigt ein Beispiel für diese Darstellung.

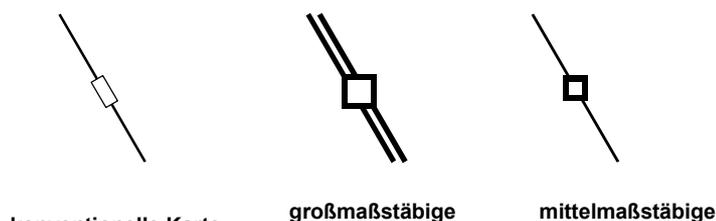


Abbildung 5.14: Positionssignatur (Bahnhof)

Die Verkehrsweegegestaltung für die Bildschirmvisualisierung ist in einigen Fällen mit Darstellungsproblemen verbunden, die gelöst werden müssen. Diese Probleme treten bei

- der Bündelung von Straßen, z. B. bei Auf- und Abfahrten zu bzw. von Straßen,
- der Darstellung von Über- und Unterführungen sowie
- der Beschriftung auf.

Abbildung 5.15 zeigt solche Darstellungsprobleme und mögliche Lösungen für die Visualisierung am Bildschirm.

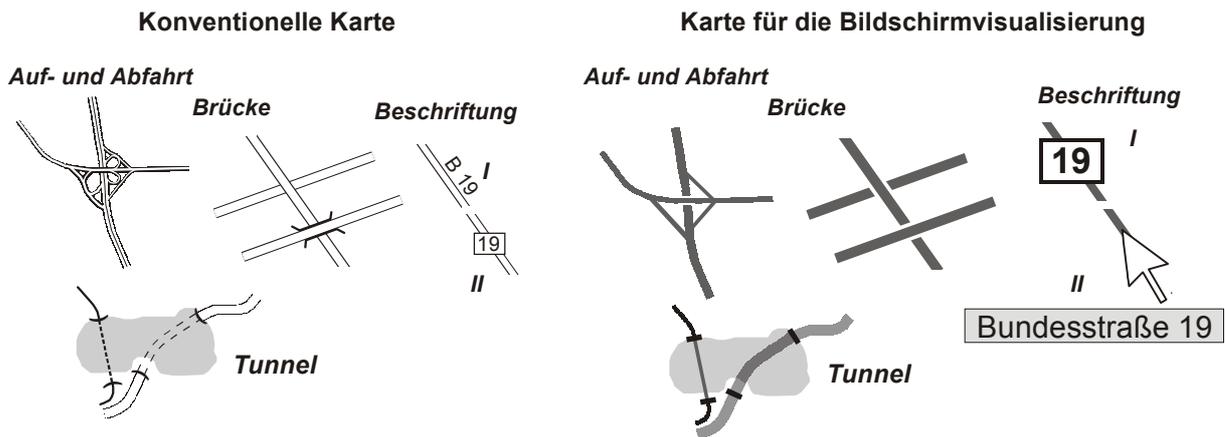


Abbildung 5.15: Probleme der Verkehrswegedarstellung

Zu Abbildung 5.15: Die vier Beispiele für konventionelle Darstellungen zeigen typische Konstellationen, die auch bei Karten für die Bildschirmvisualisierung auftreten. Die Beispiele *Auf- und Abfahrt* und *Brücke* zeigen Lösungen für die Abbildung von Über- und Unterführung. Diese Problematik kann nur durch Unterbrechung des unterführenden Objekts gelöst werden. Der Bereich der Unterbrechung muss dabei genügend groß sein und über der Mindeststärke für Linien liegen. Die Verwendung einer Brückensignatur ist nicht sinnvoll.

Die Angabe der Straßenklassifizierung ist in gewohnter Weise nicht möglich, da die notwendige Vergrößerung der Schrift, wie sie bei der geeigneten Kartengrafik für Bildschirme unter Abbildung 5.15 *Beschriftung I* zu sehen ist, das Kartenbild unnötig überlastet. Beispiel *Beschriftung II* zeigt eine interaktive Lösung. Die Möglichkeiten der Hinterlegung von Information zum interaktiven Abruf werden im Kapitel 6.4 behandelt. Beispiel *Tunnel* zeigt die Darstellung unterirdisch verlaufender Verkehrswege. Auch hier ist eine Vereinfachung vonnöten. Die Unterbrechung der Signatur des zugehörigen Verkehrsweges, in konventionellen Karten durch Aneinanderreihung von Liniensegmenten, ist nicht möglich. Eine grafisch ausgewogene Lösung liegt in der Fortsetzung der Linie in einer anderen farblichen Gestaltung. Als Farbe eignet sich die des überdeckenden Objektes in einem helleren Tonwert.

Zusammenfassung der Gestaltungsvorschläge:

Für die Darstellung von Verkehrswegen topografischer Karten am Bildschirm eignen sich folgende Gestaltungsmittel:

- Linien für Verkehrswege in allen außer kleinsten Maßstäben (dort keine Darstellung),
- Positionssignaturen für Bahnhöfe in großen und großen mittleren Maßstäben,

Durch die weitgehende Verwendung von Linien an Stelle von Signaturen geht in allen Maßstabsbereichen die grundrissähnliche Darstellung verloren und wird durch Lagetreue ersetzt.

5.2.6 Darstellung von Anlagen der Kommunikation und Versorgung

Anlagen der Kommunikation und Versorgung sind z. B. Dämme, Deiche und Versorgungsleitungen. In konventionellen Karten werden solche Objekte meist durch lineare Signaturen wiedergegeben.



Abbildung 5.16: Gestaltungsmittel für die Darstellung von Versorgungsleitungen

Für die Darstellung von Dämmen und Deichen in der Bildschirmvisualisierung sollten breite Linien verwendet werden. Bei der Wiedergabe von Versorgungsleitungen sind Parallelen zur konventionellen Karte möglich. Liniensignaturen können verwendet werden, wenn die Grafik mit Antialiasing bearbeitet wird (vgl. Kartenproben 1 bis 3). Alternativ sollten graue oder violette Linien verwendet werden. Abbildung 5.16 stellt Gestaltungsvarianten von konventionellen Karten und von Bildschirmkarten nebeneinander.

Anlagen der Kommunikation und Versorgung sollten wegen der zunehmenden Kartenbelastung bei kleiner werdenden Maßstäben nur in großen und in großen mittleren Maßstäben im Kartenbild wiedergegeben werden.

5.2.7 Darstellung von Einzelobjekten

Topografische Einzelobjekte sind vor allem lokale Objekte, die durch Positionssignaturen dargestellt werden (z. B. Kirche, Turm). In konventionellen Karten großer und mittlerer Maßstäbe werden sie lagetreu überwiegend durch geometrische und bildhafte Positionssignaturen dargestellt.

Für die Bildschirmvisualisierung wurde bereits festgestellt, dass die Verwendung von Quadraten und Rechtecken besonders geeignet ist. Signaturen für Einzelobjekte können aus diesen einfachen Formen zusammengesetzt werden, um ähnliche Zeichen wie in der konventionellen Karte verwenden zu können. Grundsätze für die Gestaltung sind:

- konstante Lage in der Bildpunktmatrix (Größe und Strichstärke des Kartenzeichens),
- Erhalt logischer Beziehungen – ähnliche Signaturen für ähnliche Objekte und
- Gewähr der Lesbarkeit bei möglichst geringer Größe.

Diese Grundsätze korrelieren miteinander. Die konstante Lage in der Bildpunktmatrix, die als spezielle Bildverbesserung für Positionssignaturen von besonderer Bedeutung ist, muss bei möglichst geringer Größe der Signatur erreicht werden. Logische Beziehungen bei der Gestaltung müssen ebenfalls bei möglichst kleiner Signaturgröße hergestellt werden und können sich an konventionellen Karten orientieren (dort ähnliche Signaturen z. B. für Kirche, Kirche mit Turm und Kirche mit zwei Türmen).

Für die Gestaltung von Positionssignaturen für Einzelobjekte ist eine geeignete Signaturgröße zu wählen. Linien, aus denen die Signaturen zusammengesetzt werden, müssen mindestens zwei Bildpunkte stark sein. Die Rasterkonvertierung in zwei Pixel muss sich bereits realisieren lassen, wenn die vektoriell gewählte Strichstärke geringfügig über einem Bildpunkt liegt, da dann zwei Pixel von der Linie bedeckt werden. Bei Verschiebung der so aufgebauten Signatur bleibt die rasterkonvertierte Stärke meist gleich, während sich die einer Signatur, welche in der Linienstärke von zwei Bildpunkten definiert ist, meistens verbreitert (Tabelle 5.8). Hieraus ist eine Forderung abzulesen, die von gängigen Grafikprogrammen bisher nicht unterstützt wird. Bei CorelDraw (Version 8, 1 024 x 768 Bildpunkte, Pixelgröße 0,25 x 0,25 mm²) erfolgt die Rasterkonvertierung einer Linie z. B. erst bei einer im metri-

schen Maß definierten Linienstärke von 1,8 Bildpunkten in zwei Pixel und dies nicht bei allen Lagen in der Bildpunktmatrix.

Tabelle 5.8 zeigt, dass die Darstellung einer Linie der Stärke von 1,1 Bildpunkten unabhängig von der Lage des Zeichens in der Bildpunktmatrix ist, wenn bereits unter dieser Breite die Rasterkonvertierung in zwei Pixel erfolgt.

Tabelle 5.8: Anzahl der Bildpunkte, in die Signaturen im metrischen Maß definierter Größe bei Verschiebung rasterkonvertiert werden

Definierte Größe	Verschiebung (Bildpunkt)										
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
2 Bildpunkte 	3 	3 	3 	3 	3 	3 	3 	3 	3 	3 	2 
1,5 Bildpunkte 	3 	3 	3 	3 	2 	3 	3 	3 	3 	3 	2 
1,1 Bildpunkt 	2 	2 	2 	2 	2 	2 	2 	2 	2 	2 	2 

Bei gängigen Grafikprogrammen bringt die Festlegung der Linienstärke in ganzen Bildpunkten kein gutes Ergebnis, wenn die Signatur beliebig verschoben wird (vgl. Tabelle 5.8, erste Zeile *2 Bildpunkte*). Grund dafür sind softwareabhängige Schwellwerte, ab denen eine Linie in eine bestimmte Anzahl von Bildpunkten rasterkonvertiert. Die Festlegung der Stärke wird meist nur in metrischen Maßen oder verschiedenen Punktmaßen ermöglicht. Die Möglichkeit, sie im Bildpunktmaß zu bestimmen, ist für die Bildschirmvisualisierung jedoch erforderlich.

Signaturen, die aus verschiedenen grafischen Trivialen zusammengesetzt werden, sollten in ihrer Breite und ihrer Höhe in bestimmte Bildpunktzahlen rasterkonvertieren. Wenn Symmetrie gewünscht ist, müssen die grafischen Triviale gerade Pixelzahlen breit sein. Abbildung 5.17a) zeigt Gestaltungsvorschläge für Positionssignaturen für Einzelobjekte. Die gute Lesbarkeit wird erreicht, indem alle grafischen Triviale parallel zur Bildpunktmatrix liegen. Wenn Verschiebungen nur in ganzen Bildpunktzahlen zugelassen werden, bleibt die Lesbarkeit immer erhalten, auch wenn die Signaturen in der geringstmöglichen Größe dargestellt werden.

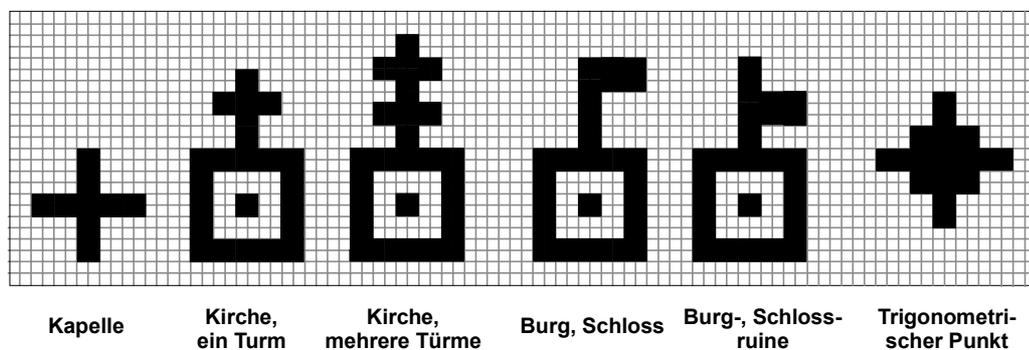


Abbildung 5.17a): Festlegung gerader Bildpunktzahlen für punkthafte geometrische Zeichen

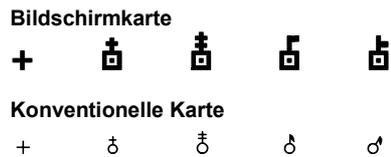


Abbildung 5.17b): Größenvergleich von Positionssignaturen für Einzelzeichen in konventioneller Karte und in einer Karte für die Bildschirmvisualisierung

Positionssignaturen für Einzelobjekte müssen wegen ihrer geringen Größe gut sichtbar sein und sollten daher in intensiven Farben erscheinen. In Abbildung 5.17b) werden ausgewählte Signaturen der Darstellung konventioneller Karten gegenübergestellt. Der Größenunterschied ist beträchtlich, obwohl die Signaturen für die Bildschirmkarte in ihrer Mindestgröße wiedergegeben werden. Ihre Gestaltung lässt Ähnlichkeit zur konventionellen Karte erkennen.

In der Bildschirmvisualisierung nimmt die Anzahl dargestellter Einzelzeichen von großen zu mittleren Maßstäben hin ab. Im Maßstab 1:100 000 sind nur noch vereinzelt Objekte darstellbar. In den Maßstäben 1:200 000 und kleiner sollten keine Einzelzeichen mehr im Kartenbild erscheinen.

Zur Verdeutlichung der Gestaltung von Positionssignaturen für Einzelobjekte eignet sich vor allem die Betrachtung der Kartenprobe *Stadtplan* auf dem beiliegenden Datenträger.

5.2.8 Darstellung des Reliefs

Die Gestaltungsmittel für die Darstellung des Reliefs geben in der zweidimensionalen Kartengrafik über Geländeformen Auskunft. Heute gebräuchliche Mittel der Reliefdarstellung in konventionellen Karten sind:

- Höhenlinien (Isohypsen) als Verbindungslinien von Punkten gleicher Höhe, anschauliches und ausmessbares Gestaltungsmittel in großen, mittleren und kleinen Maßstäben,
- kotierte Punkte als schriftliche Kennzeichnung einzelner Höhen (alle Maßstabsbereiche) und
- Schummerungen als anschauliche Herausarbeitung der Geländeformen durch Schattierung in mittleren, kleinen und kleinsten Maßstäben.

In physischen Karten (kleine und kleinste Maßstäbe) werden Höhenschichten als farbige Kennzeichnung des Bereichs bzw. der Fläche zwischen Höhenlinien verwendet. In der Regel sind verschiedene Gestaltungsmittel der Reliefdarstellung, etwa kotierte Punkte, Höhenlinien und bzw. oder Schummerung miteinander kombiniert anzutreffen. Bei Darstellung des Reliefs mit Höhenschichten sind Höhenlinien zu vermeiden.

Die lesbare Wiedergabe von Höhenlinien ist wegen der Bildstörung an linearen Strukturen der Karte nicht möglich. Diese wichtige anschauliche, auszählbare und geometrisch genaue Reliefinformation kann deshalb in der Bildschirmvisualisierung nicht dargestellt werden. In Abhängigkeit vom Maßstab eignen sich dagegen Schummerung und Höhenschichten. Darüber hinaus können kotierte Punkte zur Angabe ausgewählter Höhen in allen außer kleinsten Maßstäben beitragen (siehe z. B. großmaßstäbige Kartenproben 1:10 000).

Die Wiedergabe einer *Schummerung* eignet sich besonders, da graue Halbtöne unsimuliert darstellbar sind und den übrigen Karteninhalt nicht störend beeinflussen. Dabei ist zu beachten, dass schattierten Bereichen keine Grauwerte größer als 60% zugewiesen werden. Schummerungen aus vorhandenen, konventionellen Karten können durch Bildbearbeitung aufgehellt werden. Bei den mittelmaßstäbigen Kartenproben werden Schummerungen für die Reliefdarstellung verwendet. Sie wurden mit Ausnahme der Schummerung der Kartenproben 1:25 000 aus digitalen Höhenmodellen abgeleitet und erreichen ausreichende grafische Qualität. Diese Möglichkeit der Reliefwiedergabe ist für den mittleren Maßstabsbereich deshalb unter gerechtfertigtem Aufwand weitgehend gegeben.

Höhenschichten erweisen sich für kleinmaßstäbige Darstellungen als aussagekräftige Gestaltungsmittel für das Relief. Ihre Nutzung erfordert eine flächenhafte Einfärbung des Kartenbildes. Farbskalen werden angewandt, welche die Lesbarkeit des übrigen Karteninhalts nicht einschränken dürfen. Die Tabellen 5.11 und 5.12 zeigen solche Skalen. Die Wahl einer Farbskala hängt vor allem davon ab, ob die Bodenbedeckung, in kleinen Maßstäben lediglich Wald, ebenfalls dargestellt werden soll. Bei farbigen Höhenschichten kann die Vegetation nicht durch eine grüne Flächenfärbung wiedergegeben werden. Als Alternative eignet sich eine transparente graue Färbung. Waldflächen können durch einen grünen transparenten Farbton abgebildet werden, wenn die Höhenschichten in einer Farbskala aus Graustufen oder durch eine farbige Skala ohne Grüntöne dargestellt werden. Im Rahmen der Erarbeitung der Kartenproben wurden verschiedene Gestaltungsmöglichkeiten für Höhenschichten untersucht (vgl. Kartenproben 10, 11 und 12).

Bei der großmaßstäbigen Kartenprobe 1 wurden Höhenschichten in Graustufen zur Reliefdarstellung angewandt. In diesem Beispiel wurde versucht, die notwendige Abdunklung des Hintergrundes mit der Höheninformation zu belegen.

Die Wiedergabe einer Reliefinformation kann daneben in Verbindung mit der Vegetationsdarstellung erfolgen. Die Verwendung der sogenannten *höhenabhängigen Vegetationsstufendarstellung gemäß der natürlichen Verbreitung* (BRANDSTÄTTER 1983) beschränkt sich jedoch auf Hochgebirgsgebiete. Für die Farbgebung schlägt BRANDSTÄTTER vor:

- Landwirtschaftliche Flächen – blassgrün
- Wald – stumpfgrün
- Krummholz – holzfarben (braunoliv)
- Almgras - gelblich

Die höhenabhängige Vegetationsstufendarstellung wurde in der Kartenprobe 4 auf dem beiliegenden Datenträger mit der Schummerung kombiniert.

Kleinformen können am Bildschirm nicht dargestellt werden, da die Wiedergabe von Höhenlinien, die eine Voraussetzung ist, wegen der starken Bildstörung bei Linien nicht sinnvoll ist. *Felszeichnungen* können wegen der notwendigen, aber nicht darstellbaren Detailzeichnung ebenfalls nicht für eine Bildschirmkarte aufbereitet werden. In konventionellen topografischen Karten ist sie jedoch ein Gestaltungsmittel, das die Erkennung der Geländebeschaffenheit wesentlich fördert. Die Karte für die Bildschirmvisualisierung verliert eine weitere Reliefinformation. Lediglich die Felsgebiete können durch Schraffur oder Halbton gekennzeichnet werden.

Zusammenfassung der Gestaltungsvorschläge:

Einsetzbare Darstellungsmittel für die Reliefwiedergabe am Bildschirm sind Schummerung, Höhenschichten und kotierte Punkte.

- Kotierte Punkte sind in allen außer kleinsten Maßstäben verwendbar. Die Anzahl angegebener Höhen nimmt mit kleiner werdendem Maßstab ab.
- Schummerungen eignen sich für Karten mittlerer, kleiner und teilweise kleinster Maßstäbe.
- Höhenschichten können vorwiegend für Karten kleiner und kleinster Maßstäbe angewandt werden. Sie können aber auch als Alternative für nicht nutzbare Höhenlinien in großen Maßstäben verwendet werden.

Kombinationen von Höhenschichten, Schummerung und kotierten Punkten sind vor allem für Karten des kleinen Maßstabbereichs günstig.

5.2.9 Grenzen

Grenzen werden in konventionellen Karten überwiegend durch Liniensignaturen dargestellt. Verschiedene Gestaltungen werden vor allem für politisch-administrative Grenzen angewandt (z. B. Signatur, Signatur mit Grenzband bzw. –saum, Linie mit Grenzband). Die Liniensignatur (z. B. Strich-Punkt-Linie) ist wegen der starken Bildstörung nicht auf die Bildschirmvisualisierung übertragbar.

In der Bildschirmvisualisierung von Karten können *politisch-administrative Grenzen* durch breite Linien geringen Tonwertes (Grenzband, z. B. heller violetter Ton) und bzw. oder starke Linien (z. B. dunkler violetter Ton) und Linien geringen Tonwerts ohne Grenzband (z. B. heller violetter Ton) dargestellt werden. Damit können drei administrative Ordnungen wiedergegeben werden. Für die Karte in der Bildschirmvisualisierung sollte dies ausreichen. Abbildung 5.18 zeigt drei Beispiele.

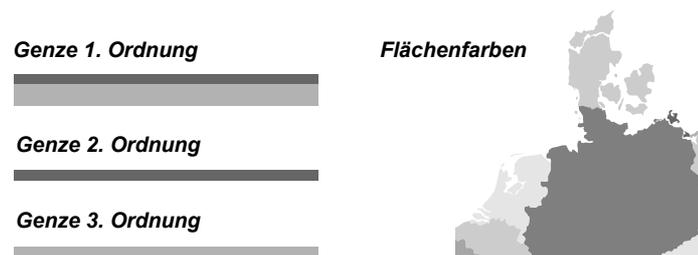


Abbildung 5.18: Darstellung von Grenzen

Wenn Grenzen das Kartenbild, vor allem klein- und kleinstmaßstäbiger Karten stören, können politisch-administrative Einheiten durch Flächenfarben voneinander getrennt werden. Dies ist möglich, da die Bodenbedeckung in diesen Maßstäben nicht dargestellt wird (Abbildung 5.18). Die klein- und kleinstmaßstäbigen Kartenproben auf dem beiliegenden Datenträger zeigen Beispiele.

Sonstige Grenzen sind z. B. Grenzen von Natur- und Landschaftsschutzgebieten. Sie können in großen und mittleren Maßstäben durch Linien dargestellt werden. Geeignete Farben sind dunkle (NSG) und helle (LSG) Grüntöne.

5.2.10 Schrift

Schrift wird in konventionellen Karten aller Maßstäbe als erläuterndes Element in vielen Gestalten (normal, kursiv, fett usw.) verwendet. Die Anzahl verschiedener Fonts, Größen und Schriftschnitte ist vor allem in Karten mittlerer Maßstäbe groß und nimmt mit kleiner werdendem Maßstab ab. Inzwischen liegen Serifenschriften und serifenlose Fonts vor, deren Konstruktion speziell für die Eigenschaften von Bildschirmen erfolgte. Solche Schriften sind

- Verdana,
- Georgia und
- Trebuchet.

Weitere zur Verwendung am Bildschirm konstruierte Fonts sind nach Städten benannt, z. B. die Schriften:

- Chicago,
- Geneva,
- Monaco und
- New York.

Die von *Microsoft* entwickelte Schrift *Verdana* und die Schrift *Geneva* sind Fonts, die sich von konventionellen Schriften durch größeren Buchstabenabstand und Veränderung der Charakteristika einzelner Buchstaben lesbarkeitsfördernd abheben. Zu ihren Besonderheiten zählt die Ausgeglichenheit der Form horizontaler und vertikaler Linien, Kurven und Diagonalen. Die Schriften sind so gestaltet, dass sie auch bei kleinem Schriftgrad gut lesbar sind. Außerdem sind grafisch ähnliche Zeichen individuell gestaltet.

Die Schrift *Geneva* ist ein Bitmap-Font, bei dem die Lage des einzelnen Buchstaben in der Bildpunktmatrix immer gleich ist (vgl. Abbildung 4.7). Für die Schrift *Chicago* trifft dies ebenfalls zu. Bitmap-Fonts sind für die Darstellung am Bildschirm auch unbearbeitet besser geeignet als vektorielle (*True Type*) Fonts. Nach GÖTZ (1998) sollten sie aber erst im Schriftgrad von 3,5 mm (14 Bildpunkte) oder größer eingesetzt werden. Für die kartografische Darstellung bleiben sie damit für heute übliche Bildpunktgrößen geeignet, da diese Größe dem minimalen Schriftgrad entspricht (vgl. Abschnitt 5.1.2).

Folgende Beispiele vermitteln einen Eindruck von den Fonts *Arial*, *Verdana* und *Geneva*:

Arial: i, j, l - I, J, L - 1 Verdana: i, j, l - I, J, L - 1 Geneva: i, j, l - I, J, L - 1

Georgia und *Trebuchet* sind weitere Schriften, welche die Lesbarkeit am Monitor erleichtern sollen. Erstere ist ein Serifenfont, der konstruiert wurde, um den Font *Times (New Roman)*, der 1932 für die Londoner Tageszeitung *Times* entwickelt wurde, für die Darstellung an Bildschirmen zu ersetzen. Vor allem die kursive *Georgia* zeichnet sich im Vergleich mit *Times New Roman* durch vergrößerte Laufweite und bessere Erkennbarkeit aus. Die Lesbarkeit der Serifenschrift bleibt dennoch eingeschränkt:

Georgia: Georgia ersetzt Times New Roman - Times NR: Georgia ersetzt Times New Roman

Bei den meisten bisher behandelten Schriften wird das Zusammenschmelzen benachbarter Buchstaben nicht verhindert. Dafür muss die Laufweite, der Abstand zwischen den Buchstaben, weiter erhöht werden. Die speziell für die Darstellung an Monitoren entwickelten Fonts verfügen über eine höhere Laufweite. Bei fettem Schnitt kommt es dennoch zu Verschmelzungen.

Bei *Trebuchet* und *Geneva* ist der Buchstabenabstand im Vergleich zu *Verdana* den Erfordernissen der Bildanzeige nach zu klein. Das folgende Beispiel macht das deutlich:

Verdana: abcdefghijklmnopqrstuvwxyz Geneva: abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
Trebuchet: abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

Verschmelzungen werden besonders bei fettem Schnitt deutlich:

Verdana: abcdefghijklmnopqrstuvwxyz Geneva: abcdefghijklmnopqrstuvwxyz
Trebuchet: abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

GÖTZ (1998) zeigt, dass auch Schriften, die für den Druck entwickelt wurden, für die Visualisierung an Bildschirmen geeignet sein können. Ihre Tauglichkeit ist jedoch auf wenige Schriftgrade beschränkt. In verschiedenen Größen wird vor allem die Schrift *Univers* als gut lesbar eingeschätzt. Bei Nutzung fetten Schnitts ist ihre Laufweite jedoch ebenfalls zu erhöhen. Folgende Beispiele zeigen *Univers* unter normaler Laufweite:

Univers: abcdefghijklmnopqrstuvwxyz **Univers fett: abcdefghijklmnopqrstuvwxyz**

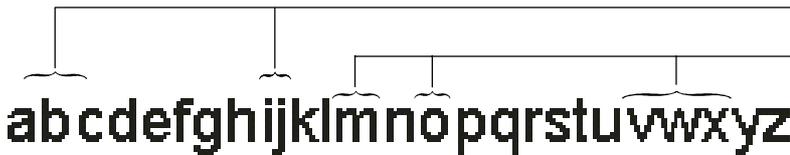
Eine wichtige Eigenschaft, über die Kartenschrift am Bildschirm verfügen muss, ist die notwendige Mindeststrichstärke von zwei Bildpunkten. Diese Stärke muss bei allen Buchstaben vorhanden sein. Über diese Eigenschaft verfügen einige gängige serifenlose Schriften (z. B. *Arial*, *Helvetica*, *Verdana*) bereits in ihrer Mindestgröße. Einige Buchstaben dieser Schriften, also auch solcher, die für den Bildschirm gestaltet wurden, leiden jedoch unter einer Grafikdeformation. Diese Deformation äußert sich

in ungleichmäßigen Abständen zwischen den Buchstaben, fehlender Symmetrie und ungleicher Intensität trotz Einhaltung des Schriftgrades. Sie tritt auch auf, wenn die Schrift mit Antialiasing bearbeitet wurde.

Die geringe Intensität der Buchstabenfolge *v-w-x-y* ist im Vergleich mit anderen Folgen, z. B. *k-l-m-n*, auffällig. Für Druckausgaben vorgesehene Fonts und für den Bildschirm gestaltete Schriften müssen zur Verbesserung ihrer Lesbarkeit am Bildschirm nachbearbeitet werden. Abbildung 5.19 zeigt Mängel und Maßnahmen zur Verbesserung der Lesbarkeit von Schrift.

Mängel der Schrift

abcdefghijklmnpqrstuvwxyz



*ungleichmäßige Abstände,
mögliche Verschmelzung*

*ungleichmäßige Strichstärke,
fehlende Symmetrie*

Bearbeitete Schrift

abcdefghijklmnpqrstuvwxyz

abcdefghijklmnpqrstuvwxyz

Ausgeglichene Intensität

klmn ↔ vwxy
vwxy

Erhaltung der Symmetrie

c o p q c o p q

Abbildung 5.19: Mängel und Maßnahmen zur Verbesserung der Lesbarkeit von Schrift

Zu Abbildung 5.19: Das obere Beispiel verweist auf Mängel des unbearbeiteten rasterkonvertierten Fonts *Arial*. Beispiel *Bearbeitete Schrift* enthält Schrift in Mindestgröße und vergrößert, die zur Vermeidung dieser Mängel speziell bildverbessert wurde. Die Verbesserung der Lesbarkeit gelingt durch Vergrößern des Buchstabenabstands bei einigen Buchstaben. Wesentlich dafür ist, dass die Lage der Buchstaben in der Bildpunktmatrix konstant bleibt und Verschiebungen nur um ganze Bildpunkte möglich sind. Die geringe Intensität einiger Buchstaben (unteres Beispiel links) kann durch angepasste Strichstärken, das heißt Vergrößerung der Bildpunktzahl, zum Teil ausgeglichen werden. Das Beispiel *Erhaltung der Symmetrie* verdeutlicht, dass durch die Bearbeitung der Schrift die notwendige Symmetrie einiger Buchstaben wiederhergestellt werden kann.

Antialiasing beseitigt die Grafikdeformation der einzelnen Buchstaben, den Treppeneffekt und die fehlende Symmetrie weitgehend. Die Problematiken ungleicher Abstände zwischen Buchstaben und ungleichmäßiger Strichstärken werden durch diese Maßnahmen jedoch nicht behoben. Bildverbessernde Maßnahmen führen gelegentlich dazu, dass verstärkt Buchstaben und ihre Teile miteinander verschmelzen. Die an diesen Effekten beteiligten Bildpunkte sind stets mit einem Grauwert belegt, so dass die Verschmelzung zumindest bei hellen Grauwerten nicht stört. Die folgenden Beispiele zeigen Schrift mit Antialiasing, aber ohne spezielle Bildverbesserung, und Schrift, die neben Antialiasing speziell bildverbessert wurde.

Antialiasing bei Schrift

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

Antialiasing und Nachbearbeitung der Schrift

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

abcdefghijklmnopqrstuvwxyz

Beim oberen Beispiel werden Mängel wie in Abbildung 5.19 deutlich. Sie lassen sich durch die spezielle Nachbearbeitung der Schrift beseitigen. Ungleichmäßige Abstände und Strichstärken werden korrigiert.

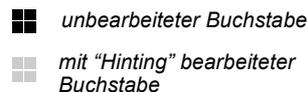
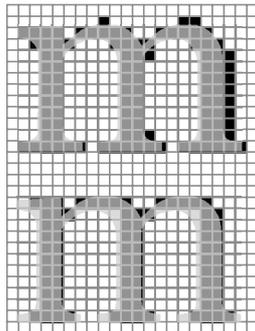


Abbildung 5.20: Beispiel für „Hinting“
(nach TURTSCHI 2000)

Zur Verbesserung der Lesbarkeit von Schrift führt auch die Bearbeitung mit dem sogenannten *Hinting*-Verfahren (vgl. TURTSCHI 2000). Dies ist ein Umrechnungsprozess für vektorielle Schriftarten (Bitmap-Schriften benötigen dies nicht, vgl. Abschnitt 4.2.4), der Unregelmäßigkeiten bei Buchstabendetails verhindert, indem Buchstaben in die Bildpunktmatrix eingepasst werden. Symmetrische Buchstabenanteile bleiben erhalten. Dabei muss das Grafikprogramm *Hinting* unterstützen und die zugehörigen Informationen müssen im Font implementiert sein. Fontseitig wird *Hinting* z. B. von *Verdana* und *Georgia* unterstützt. Das Ergebnis ist ein Schriftbild, in welchem Buchstaben immer in gleicher Lage in der Bildpunktmatrix liegen. Abbildung 5.20 zeigt das Arbeitsprinzip von *Hinting* an Buchstaben.

Die Notwendigkeit der Verwendung serifenloser Schrift am Bildschirm wurde bereits betont. Derartige Schriften ähneln in der Bildschirmvisualisierung einander so sehr, dass verschiedene Fonts in einer Karte kaum unterscheidbar sind. Folgendes Beispiel verdeutlicht das:

<i>Verdana</i>	Neubiberg	<i>Arial</i>	Neubiberg	<i>Univers</i>	N e u b i b e r g
<i>Trebuchet</i>	Neubiberg	<i>Helvetica</i>	N e u b i b e r g	<i>Helmet</i>	N e u b i b e r g

Als Möglichkeiten der qualitativen und quantitativen Unterscheidung verbleiben daher verschiedene Schnitte (normal, kursiv, fett, fettkursiv - magerer Schnitt ist wegen der geringen Strichstärke von einem Bildpunkt zu vermeiden), Größen und Farben. Die Farbe richtet sich nach dem beschrifteten Kartengegenstand, z. B. schwarz für die Situationsdarstellung, blau für Gewässer. Die Verwendung kursiven und fettkursiven Schnitts verbietet sich, wenn die Schrift ohne Antialiasing dargestellt wird. Für die Kennzeichnung von Qualitäten und Quantitäten eignet sich Schrift fetten und normalen Schnitts sowie ihre Darstellung in verschiedenen Größen. Folgendes Beispiel verdeutlicht notwendige Größenunterschiede zwischen Schriften, unter denen die Wahrnehmung der verschiedenen Größen möglich ist. Bei größer werdendem Schriftgrad sind zwei Bildpunkte Unterschied nicht mehr ausreichend.

	<i>Neubiberg</i>	Neubiberg	<i>Neubiberg</i>
Bildpunkte:	14	16	18

Der quantitative Umfang der darstellbaren Schrift in Karten für die Bildschirmvisualisierung ist wesentlich geringer als der gedruckter Karten. In Abbildung 5.21 werden zwei Kartenausschnitte nebeneinander gestellt. Im Kartenbild kommt es zu einem großen Informationsverlust. Die fehlende Infor-

mation kann jedoch durch interaktive Funktionen teilweise ausgeglichen werden (vgl. Abschnitt 6.3.2).

Siedlungen können nur etwa in dem Maße wie in Abbildung 5.21 beschriftet werden. Das bedeutet für kleinere Maßstäbe des mittleren Maßstabsbereichs, dass nur große Ortschaften im Kartenbild durch Schrift gekennzeichnet werden. Vor allem in den Maßstäben 1:100 000 und kleiner sind nur wenige Schriften darstellbar. In Karten größerer Maßstäbe ist es dagegen teilweise möglich, alle Siedlungen zu beschriften (vgl. mittelmaßstäbige Kartenproben des beiliegenden Datenträgers).

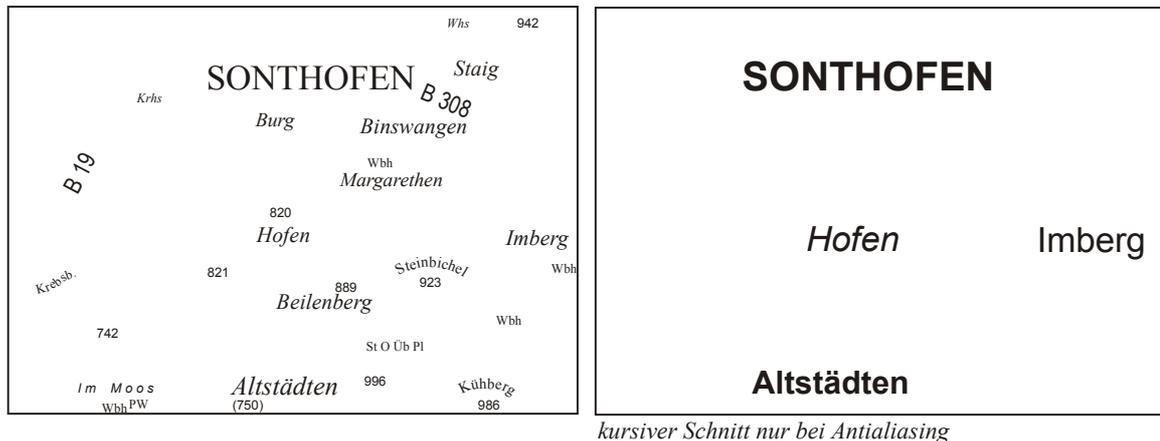


Abbildung 5.21: Umfang der Kartenschrift in gedruckter Karte (links) und Bildschirmkarte (rechts)

Nur flächenhafte Gewässer genügender Größe können beschriftet werden. Antialiasing ermöglicht hier nicht parallel in der Bildpunktmatrix stehende Schriftlagen. Die Größe solcher Schriften muss aber auf mindestens 16 Bildpunkte angehoben werden. Ein Beispiel für nicht parallel in der Bildpunktmatrix liegende Schrift zeigen die Kartenproben 13, 14 oder 15 auf dem beiliegenden Datenträger (Schriftzug *IJsselmeer*). Die Beschriftung von Liniengewässern würde die kartografische Darstellung überladen.

Des Weiteren können vor allem in großmaßstäbigen Karten und im Maßstab 1:25 000 einige Einzelobjekte beschriftet werden. Die Reliefinformation kotierter Punkte muss ebenfalls mit einem Schriftzusatz versehen werden. Vor allem für großmaßstäbige Karten ist diese Information wichtig.

5.3 Gesamtheit der kartografischen Darstellung

Die Tabellen 5.9 bis 5.12 fassen die in den vorstehenden Abschnitten gewonnenen Erkenntnisse zur lesbaren Gestaltung von Karten für die Bildschirmvisualisierung zusammen. In ihnen werden sowohl in den einzelnen Bereichen des topografischen Inhalts als auch in den beiliegenden Kartenproben teilweise Alternativlösungen vorgeschlagen. Außerdem werden beispielhafte Gestaltungsvarianten der klassischen topografischen Karte gezeigt.

Die Kartenproben auf dem beiliegenden Datenträger zeigen Ausschnitte topografischer Karten nach den hier abgeleiteten Gestaltungsvorschlägen und decken alle Maßstabsbereiche ab. Eine weitere Kartenprobe zeigt einen Stadtplanausschnitt. Teilweise sind die Darstellungen inhaltlich und geometrisch stark vereinfacht. Letzteres betrifft insbesondere lineare Strukturen. Bis auf wenige Ausnahmen wurden die Kartenproben mit Antialiasing bearbeitet. In ihnen werden daher alle Möglichkeiten zur Verbesserung der Lesbarkeit, geeignete Kartengestaltung sowie spezielle und allgemeine Bildverbesserung, berücksichtigt. Ausdrücklich ist darauf hinzuweisen, dass Gestaltungsvorschläge und die nach ihnen gestalteten Karten Ergebnisse experimenteller Untersuchungen sind. Diesen Status verdeutlicht auch die Bezeichnung *Kartenprobe*.

Die Ausführungen von Kapitel 5.2 haben gezeigt, dass die Gestaltung für die Bildschirmvisualisierung eine grafische, das heißt inhaltliche und gestalterische, Vereinfachung der Karte erfordert. Ein Trend zur Verbesserung der Lesbarkeit durch Verwendung bestimmter Gestaltungsmittel ist auch bei der Entwicklung der *Digitalen Topografischen Karte* der amtlichen Kartografie festzustellen. Die Gestaltungsvorschläge der Tabellen 5.9 bis 5.12 können sich teilweise an dieser Karte orientieren. Das betrifft insbesondere die farbliche Gestaltung. In den Tabellen werden deshalb auch Gestaltungsbeispiele aus der Digitalen Topografischen Karte mit erfasst. Sie stammen aus verschiedenen Quellen. HERDEG (1993) stellt im Zusammenhang mit der DKM-Realisierung in der Entwurfsphase die Erhöhung der Mindestgrößen und den Verzicht auf viele Schriftzusätze in den Vordergrund. An Beispielen zeigt er die unterschiedliche Wirkung der Darstellung mit und ohne Gebäudezeichnung. GRIMM (1993) ergänzt diesen Beitrag um zahlreiche Kartenproben (Großstadt, Kleinstadt mit Umland, Dörfer mit Umland, Küstengebiet mit Siedlungen) des Maßstabes 1:25 000. MAHR (1995) zeigt ein weiteres solches Beispiel. KOCH (1996) stellt Kartenproben *Voralpen mit Hochgebirge* für eine neue topografische Karte im Maßstab 1:25 000 vor. WODTKE (1997) entwickelt Präsentationsgrafiken des Digitalen Landschaftsmodells 25 in den Maßstäben 1:10 000 und 1:25 000. Abschließend seien ein Testbeispiel 1:10 000 und ein inhaltlich und farblich ausgewogenes Testbeispiel zur Ableitung einer Digitalen Topografischen Karte 1:25 000 aus ATKIS-Daten genannt, welche BUCHER (1998) bzw. RÖHRICH u. a. (1998) zeigen.

Eine Charakterisierung konventioneller Karten wurde im Abschnitt 2.1.4 vorgenommen. Dabei wurde verdeutlicht, dass die Merkmale der Lagegenauigkeit (Grundrisstreue, -ähnlichkeit und Lagetreue) des Kartengegenstands die Zugehörigkeit der Karte zu einem Maßstabsbereich (groß-, mittel-, klein- und kleinstmaßstäbig) bestimmen. Die grafische Vereinfachung der Karte für die Bildschirmvisualisierung, durch welche diese Merkmale teilweise verändert werden, erfordert eine Überdenkung dieser Zugehörigkeiten. Vor allem bei der Darstellung von Siedlungen geht Grundrisstreue, bei der von Verkehrswegen Grundrissähnlichkeit verloren. Allgemein ist festzustellen, dass die geometrische Genauigkeit abnimmt. Die Übergänge von Grundrisstreue zu Grundrissähnlichkeit und von dieser zur Lagetreue verschieben sich zu größeren Maßstäben hin. In den Tabellen 5.9 bis 5.12 wird jedoch an der Klassifizierung der Maßstabgruppen und den zugehörigen Maßstäben festgehalten.

Im Abschnitt 2.1.4 wurde ebenfalls ausgeführt, dass der Maßstab einer Karte einen bestimmten inhaltlichen Abstraktionsgrad erwarten lässt. Die Bildschirmvisualisierung bedingt eine verstärkte Auswahl der darzustellenden Inhalte. Dies wird beim Vergleich der Kartenproben des beiliegenden Datenträgers mit konventionellen Darstellungen offensichtlich. Der Abstraktionsgrad einer Karte am Bildschirm ist gröber als der auf Papier. Er muss zum Kartenmaßstab in eine andere Beziehung gestellt werden als das bei konventionellen Karten der Fall ist. Die Angabe des Kartenmaßstabs wird ebenfalls vom gröberen Abstraktionsgrad beeinflusst. Hier ist die zusätzliche Benennung des Maßstabsbereichs neben der Verwendung der Maßstabsleiste zweckmäßig, um die Zugehörigkeit der Darstellung zu groß-, mittel- klein- oder kleinstmaßstäbigen Karten zu verdeutlichen.

Beziehungen zwischen dem Maßstabsbereich und dem Abstraktionsgrad einer kartografischen Darstellung existieren auch bei Karten für die Bildschirmvisualisierung. Die folgenden Überlegungen erheben aber nicht den Anspruch auf Allgemeingültigkeit, sondern verdeutlichen nur einen Rahmen, in dem der Inhalt topografischer Karten am Bildschirm dargestellt werden kann. Die dort gezeigten Beziehungen sind natürlich auch von der grafischen Dichte der zu Grunde gelegten konventionellen Karte abhängig. Im großmaßstäbigen Maßstabsbereich kann fast die gesamte Situationsdarstellung einer konventionellen Karte des Maßstabes 1:m (z. B. 1:10 000) mit anderen Gestaltungsmitteln in die Karte für die Bildschirmvisualisierung übernommen werden kann. In mittleren Maßstäben ist der Inhalt der Situationsdarstellung in einer Karte für die Bildschirmvisualisierung im Vergleich zu einer gleichmaßstäbigen konventionellen Karte geringer. Ausgehend von einer gedruckten Karte im Maßstab 1:m (z. B. 1:100 000), kann am Bildschirm lediglich etwa die Situation einer konventionellen

Karte des Maßstabs 1:2m (1:200 000) dargestellt werden. In kleinen und kleinsten Maßstäben ist dieser Anteil noch geringer.

5.3.1 Großmaßstäbige Karte

Die Gestaltungsvarianten der konventionellen Karte (Tabelle 5.9) wurden aus klassischen topografischen Karten 1:10 000 der ostdeutschen Bundesländer entnommen. Als Quelle für die Digitale Topografische Karte 1:10 000 dient der zugehörige Signaturenkatalog (ADV 2000). Die Gestaltungsvorschläge für die Bildschirmvisualisierung werden für die großmaßstäbigen Kartenproben 1 bis 3 auf dem beiliegenden Datenträger angewandt.

Tabelle 5.9: Gestaltungsvorschläge für die Karte 1:10 000 in der Bildschirmvisualisierung (Auswahl)

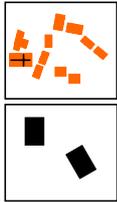
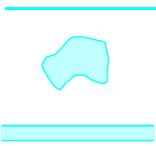
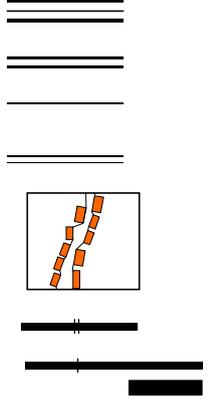
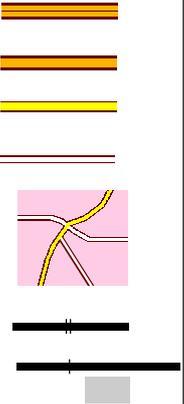
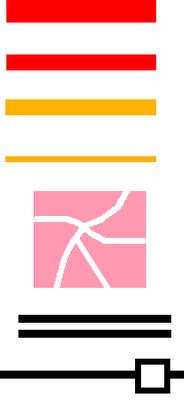
	Gestaltung in topografischer Karte 1:10 000	Gestaltung in "Digitaler Topografischer Karte"	Gestaltungsvorschlag für die Bildschirmvisualisierung
Siedlung - Gebäude - Industrie - Einzelgebäude		Flächenkontur:  Flächenkontur:  	Flächenkontur:    dichte Bebauung aufgelockerte Bebauung Farbe wählbar
Gewässer - Wasserlauf - Wasserfläche - Kanal			
Bodenbedeckung - Wald - Grünfläche - Moor, Sumpf - Sand, Geröll			
Verkehrswege - Straßen - Wirtschaftsweg - innerhalb von Ortschaften - Eisenbahn - Bahnhof			

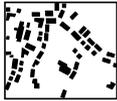
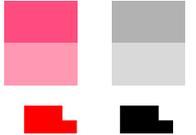
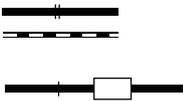
Tabelle 5.9 – Fortsetzung

	Gestaltung in topografischer Karte 1:10 000	Gestaltung in "Digitaler Topografischer Karte"	Gestaltungsvorschlag für die Bildschirmvisualisierung
Kommunikation - Versorgungsleitung			 Signatur bei Bildverbesserung möglich
Einzelobjekte - Kirche - Trigonometrischer Punkt - Steinbruch, Grube	 	 	
Relief - Höhenlinien - kotierter Punkt	 • 150,2	 • 150,2	Höhenschichten: ■ 150,2
Grenzen - politisch-administrativ - NSG/LSG	 	 	 Gebietskennzeichnung: oder
Schrift - Siedlung - Gewässer	ISNY <i>Isar</i>	ISNY <i>ISAR</i>	ISNY bei Bildverbesserung auch möglich: <i>Alpsee</i> <i>Alpsee</i>

5.3.2 Karte mittleren Maßstabs

Die Gestaltungsvarianten der konventionellen Karte wurden aus klassischen deutschen topografischen Karten 1:25 000 und kleiner entnommen. Als Quelle für die Digitale Topografische Karte 1:25 000 dient der zugehörige Signaturenkatalog (ADV 2000). Die Gestaltungsvorschläge für die Bildschirmvisualisierung werden für die mittelmaßstäbigen Kartenproben 4 bis 9 auf dem beiliegenden Datenträger angewandt.

Tabelle 5.10: Gestaltungsvorschläge für mittelmaßstäbige Karten in der Bildschirmvisualisierung (Auswahl)

	Gestaltung in klassischen topografischen Karten	Gestaltung in "Digitaler Topografischer Karte"	Gestaltungsvorschlag für die Bildschirmvisualisierung
Siedlung - Gebäudezeichen - Einzelgebäude		Flächenkontur: 	Flächenkontur:  dichte Bebauung aufgelockerte Bebauung Ortssignatur:  Farbe wählbar
Gewässer - wie in Tabelle 5.9 Ergänzung: - Kanal			
Bodenbedeckung - wie in Tabelle 5.9 Ergänzung: - Wald - Sand, Geröll			 nur 1:25 000
Verkehrswege - wie in Tabelle 5.9 Ergänzung: - Eisenbahn - Bahnhof			
Kommunikation - wie in Tabelle 5.9			nur 1:25 000
Einzelobjekte - wie in Tabelle 5.9			nur 1:25 000 und 1:50 000
Relief - wie in Tabelle 5.9 Ergänzung: - Schummerung			
Grenzen und Schrift - wie in Tabelle 5.9			

5.3.3 Kleinmaßstäbige Karte

Die Gestaltungsvarianten der konventionellen Karte wurden aus der *Übersichtskarte 1:500 000 nach dem Amtlichen Topografisch-Kartografischen Informationssystem in Bayern (ATKIS 500 Bayern)* entnommen. Die Gestaltungsvorschläge für die Bildschirmvisualisierung werden in den kleinmaßstäbigen Kartenproben 10 bis 15 auf dem beiliegenden Datenträger angewandt.

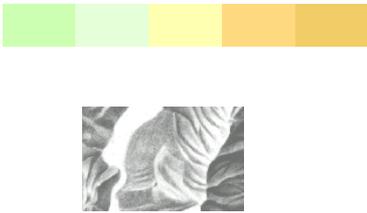
Tabelle 5.11: Gestaltungsvorschläge für kleinmaßstäbige Karten in der Bildschirmvisualisierung (Auswahl)

	Gestaltung in klassischen topografischen Karten	Gestaltung in "Digitaler Topografischer Karte"	Gestaltungsvorschlag für die Bildschirmvisualisierung
Siedlung - Ortssignatur	Flächenkontur: 	Flächenkontur: 	Flächenkontur:   Farbe wählbar (vgl. Relief und Bodenbedeckung)
Gewässer - Wasserlauf - Wasserfläche			
Bodenbedeckung - Wald			 vgl. Relief und Siedlung
Verkehrswege - Straßen - Eisenbahn			
Relief - Schummerung			 Höhengschichten (Wald grün, Siedlungen rot)  Höhengschichten (Wald grau, Siedlungen rot) 
Grenzen - politisch-administrativ			 oder Gebietskennzeichnung (nur bei Schummerung) 
Schrift - wie in Tabelle 5.9			

5.3.4 Kleinstmaßstäbige Karte

Die Gestaltungsvarianten der konventionellen Karte wurden aus klassischen Karten entnommen. Die Gestaltungsvorschläge für die Bildschirmvisualisierung werden für die kleinstmaßstäbigen Kartenproben 16 und 17 auf dem beiliegenden Datenträger angewandt.

Tabelle 5.12: Gestaltungsvorschläge für kleinstmaßstäbige Karten in der Bildschirmvisualisierung (Auswahl)

	Gestaltung in klassischer Karte	Gestaltungsvorschlag für die Bildschirmvisualisierung
Siedlung - Ortssignatur		
Gewässer - Wasserlauf - Wasserfläche		
Verkehrswege - Straßen - Eisenbahn		k e i n e
Relief - Höhengschichten - Schummerung		bei Grenzdarstellung durch Linien 
Grenzen - politisch-administrativ		 oder Gebietskennzeichnung (nur bei Reliefdarstellung durch Schummerung möglich)
Schrift -wie in Tabelle 5.9		

5.3.5 Stadtplan

Gestaltungsvorschläge für einen Stadtplan können sich an groß- und mittelmaßstäbigen Karten orientieren. Allerdings befindet sich die ganze Darstellung innerhalb einer Ortschaft. Dies wirkt sich vor allem auf die Gestaltung der Verkehrswege aus. Im Gegensatz zu den Karten mittlerer und kleiner Maßstäbe dominieren im Stadtplan Einzelzeichen. Verschiedene Tonwerte einer Flächenfärbung ermöglichen die Unterscheidung von Stadtbezirken (vgl. Kartenprobe Stadtplan).

5.3.6 Grafische Variation

Die Tabellen 5.9 bis 5.12 können nicht alle möglichen und durchaus sinnvollen Gestaltungsvarianten erfassen. In Tabelle 5.13 werden grafische Variationsmöglichkeiten der Gestaltung für eine Auswahl an Karteninhalten zusammengestellt, mit deren Nutzung sich weitere Darstellungsmöglichkeiten ergeben.

Tabelle 5.13: Grafische Variation des Karteninhalts

Karteninhalt	Grafische Variation						Maßstabsbereich
	Größe	Tonwert	Muster	Form	Richtung	Farbe	
Siedlung							
- Flächenkontur	⊕	●	○	○	⊕	●	g, m, k*
- Ortssignatur	●	●	○	○	○	●	m, k, kk
- Einzelgebäude	⊕	●	⊕	⊕	⊕	●	g, (m)
Gewässer							
- Linie	⊕	○	⊕	⊕	⊕	○	g,m,k,kk
- Wasserfläche	⊕	●	○	⊕	⊕	○	g,m,k,kk
Bodenbedeckung							
- Wald	⊕	●	○	⊕	⊕	○	g,m,k
- Grünfläche	⊕	●	○	⊕	⊕	○	g,m
Verkehrswege							
- Straßen	⊕	●	⊕	○	⊕	●	g, m, k
Kommunikation	⊕	●	⊕	○	⊕	●	g, (m)
Einzelobjekte	●	○	⊕	●	○	●	g, m
Relief							
- Schummerung	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	○	m, k,(kk)
- Höhengschichten	⊕	●	⊕	⊕	⊕	●	(g),k,(kk)
Grenzen							
- Linie	⊕	●	○	●	⊕	●	g,m,k,kk
- Fläche (Gebiet)	⊕	●	○	⊕	⊕	●	k, kk
Schrift	●	○	⊕	●	○	●	g,m,k,kk
<p>● = geeignet, ● = bedingt geeignet, ○ = ungeeignet, ⊕ = nicht möglich * Inhalt g = großmaßstäbiger, m = mittelmaßstäbiger, k = kleinmaßstäbiger, kk = kleinstmaßstäbiger Karten</p>							

Nach Tabelle 5.13 sind Variationen von Größe, Form und Richtung bei linearen und flächenhaften Kartenzeichen nicht möglich. Sie fallen aus, da die genannten Kartenzeichen Grundrisstreue, -ähnlichkeit oder Lagetreue verkörpern. Für Linien kommt hinzu, dass die Variation des Musters nicht möglich ist. Eine Ausnahme bildet der bandartige Grenzzaum, dessen Gestaltung als Muster jedoch ungeeignet ist. Wenn mit *geeignet* bewertet wurde, ist zu beachten, dass trotzdem nicht viele Darstellungsmöglichkeiten zur Verfügung stehen. Für Positionssignaturen kommen nur intensive Farben in Frage, für die Kennzeichnung von Gebieten (s. Tabelle 5.13 *Grenzen*) durch Flächenfarben nur weniger in-

tensive. Insgesamt wird deutlich, dass das größte Gestaltungspotenzial in der Verwendung verschiedener Farben, aber auch in der Variation von Tonwerten liegt.

5.4 Grafische Dichte

Probleme überhöhter grafischer Dichte treten wegen der detaillierten Situationsdarstellung teilweise bei konventionellen Karten mittlerer Maßstäbe auf. Die grafische Dichte ist zu hoch, wenn die Lesbarkeit der Karte trotz Einhaltung der Mindestmaße, ausreichenden Kontrasts und ausreichender Objekt-trennung eingeschränkt ist (HAKE/GRÜNREICH 1994). Das ist bei traditionellen topografischen Karten zum Teil, in der neuen Kartengrafik der Digitalen Topografischen Karte nicht der Fall. Ein Grenzwert für die grafische Dichte existiert nicht. SPIESS (1996a) stellt in Bezug auf die Dichte einer attraktiven Kartengrafik viele offene Fragen. Im Folgenden wird untersucht, ob die Problematik zu hoher grafischer Dichte auf Grund der hergeleiteten Gestaltungsvorschläge von Bedeutung ist.

Die Anzahl darstellbarer Kartenzeichen und die Vielfalt der Gestaltung sind bei Karten für die Bildschirmvisualisierung wesentlich geringer als in konventionellen Karten. Das betrifft insbesondere Positionssignaturen, die in ihrer Grundform quadratisch oder rechteckig sein sollten. Die grafische Dichte ist auch zu hoch, wenn die Signaturen an sich ausreichend groß und gut lesbar sind, aber der Hintergrund von ihnen in überhöhtem Maße verdeckt wird.

Abbildung 5.22 zeigt ein Kartendetail mit verschiedenen für die Darstellung an Bildschirmen entwickelten Kartenzeichen in ihren Mindestgrößen. Für ihre Auszählung wird die Voraussetzung gemacht, dass Kartenzeichen Positionssignaturen, Linien, Liniensignaturen und Flächensignaturen sind. Die Schrift wird gesondert betrachtet.

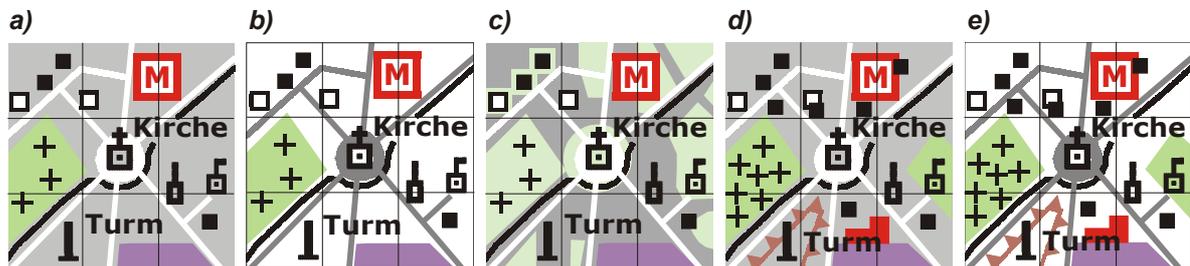


Abbildung 5.22: Zur grafischen Dichte (mehrfarbig auf dem Datenträger)

Zu Abbildung 5.22: Beispiel *a)* zeigt eine Kartengrafik mit ausgewogener grafischer Dichte. Beispiel *b)* gibt den gleichen Inhalt wieder. Die Farbgebung des Hintergrundes (z. B. bebauter Fläche) und der Straßen wurde vertauscht. Im mittleren Bereich der Grafik entsteht bei der abgebildeten Konstellation der Eindruck zu hoher grafischer Dichte, da nicht übersichtlichen linearen Strukturen der höhere Tonwert zugewiesen wurde. Beispiel 5.22*b)* wirkt überlastet, weil die Linien im Gegensatz zum Weiß von Beispiel *a)* in dunkler Farbe dargestellt werden. 5.22*c)* zeigt den gleichen Umfang an Signaturen. Die Hintergrunddarstellung ist jedoch differenzierter. Die grafische Dichte wirkt höher. Die Beispiele *d)* und *e)* sind *a)* und *b)* ähnlich. In Abbildung 5.22*d)* ist die grafische Dichte bereits zum Teil zu hoch. Der für Beispiel *b)* beschriebene Effekt bewirkt, dass die grafische Dichte in Abbildung 5.22*e)* über die gesamte Grafik zu hoch ist.

Der ausgewogenste Kartenausschnitt ist in Abbildung 5.22*a)* zu sehen. Das Zentimetergitter über allen Beispielen gibt über die Anzahl von Kartenzeichen auf einer Flächeneinheit Auskunft. Deren Auszählung ist jedoch schwierig und führt zu keinem überzeugenden Ergebnis. Lediglich zur Orientierung soll dienen, dass die grafische Dichte akzeptabel ist, wenn pro Quadratzentimeter höchstens zwei Flächentöne, zwei Positionssignaturen und zwei Linien (keine lineare Signatur) abgebildet werden.

Die grafische Dichte bleibt bei einer Maßstabsänderung etwa konstant, wenn das Verhalten der Grafikelemente maßstabsunabhängig ist. Sie ist bei deren Maßstabsabhängigkeit, das heißt mit Änderung des Maßstabes verändern sich auch die Strichstärken der Grafik (s. Abschnitt 4.7.2, Maßstabsabhängigkeit bzw. Maßstabsunabhängigkeit der Grafikelemente), variabel.

5.5 Gestaltung des Kartengrundes für thematische Karten

Der Kartengrund ist eine topografische Darstellung, die in thematischen Karten als Orientierungshilfe und zur Einbettung des Themas dient. Der Kartengrund kann ein-, zwei- oder mehrfarbig gestaltet werden. Bei Verwendung einer oder zweier Farben bieten sich Grau (Situationsdarstellung) und blau (Gewässernetz) an.

Die farbliche und inhaltliche Gestaltung der topografischen Grundlage in Karten für Monitore ist von der darzustellenden Thematik abhängig. Im Folgenden werden Vorschläge zur Gestaltung des Kartengrundes gegeben. Dabei wird an Farbgebungen für den Kartengrund konventioneller Karten festgehalten. Die Schwarzlast ist wegen der Berücksichtigung der darzustellenden Thematik möglichst gering zu halten (< 10% [RGB 26]).

Die visuelle Unterscheidung der gewählten Farbtöne ist bei der ein- oder zweifarbigen Gestaltung einer Karte von besonderer Bedeutung. Die Unterschiede zwischen den Tonwerten sollten mindestens 10 % bzw. 26 Stufen im RGB-Farbmodell groß sein.

5.5.1 Zweifarbiger Kartengrund

Für die Gestaltung eines zweifarbigen topografischen Kartengrundes steht neben einer Farbe für die Grundrissdarstellung eine weitere Farbe zur Verfügung. Folgende Tonwertverteilung bietet sich an:

Flächen – Grundriss (z. B. schwarz):

- 10 % (RGB: 230 230 230, Wiese, Moor, Sumpf), 20 % (205 205 205, Siedlungen), 30% (180 180 180, Wald), 70 % (77 77 77, Industrie- und Bahnhofsanlagen)

Flächen – Gewässer (blau):

- 25% (RGB: 0 191 255)

Linien – Grundriss (z. B. schwarz):

- 60 % (RGB: 102 102 102, Straßen), 100 % (0 0 0, Eisenbahn)

Linien – Gewässer (blau)

- 100% (RGB: 0 255 255)

Für eine umfangreichere Wiedergabe von Objekten und Erscheinungen vor allem der Situationsdarstellung stehen weitere Graustufen zur Verfügung. Eine Erweiterung des Kartengrundes empfiehlt sich jedoch nicht und ist von der darzustellenden Thematik abhängig. Die weitere Informationsgewinnung kann zum Teil auch durch interaktive Funktionalität gefördert werden (z. B. die Anzeige von Grenzen). Solchen Betrachtungen widmet sich Kapitel 6.

Die Kartenproben zur Gestaltung des Kartengrundes auf dem beiliegenden Datenträger zeigen zweifarbige topografische Grundlagedarstellungen thematischer Karten. Sie wurden nach den oben gezeigten Gestaltungsvorschlägen erarbeitet.

5.5.2 Einfarbiger Kartengrund

Für die Gestaltung eines einfarbigen topografischen Kartengrundes steht nur eine Farbe für die Grundrissdarstellung zur Verfügung. Die Variation der Farbe geht ganz verloren. Dadurch wird der Umfang der Wiedergabe zusätzlicher Inhalte weiter eingeschränkt. Für die Darstellung der im

zweifarbigen Kartengrund blau abgebildeten Gewässer kann z. B. intensives Grau (70 % - Gewässerflächen, RGB: 78 78 78) bzw. Schwarz (Gewässerlinien) verwendet werden.

Die genannten Tonwerte berücksichtigen nicht, dass der Hintergrund evtl. noch abzdunkeln ist, damit Überstrahlungseffekte vermieden werden. Wenn die Abdunklung nicht durch die thematische Darstellung geschieht, müssen die Grauwerte um etwa 5 – 10 % (RGB 243 243 243 – 230 230 230) erhöht werden, um die Unterscheidung zum Hintergrund zu ermöglichen. Die hier genannten Grauwerte lassen dies in den meisten Fällen zu.

5.6 Drehen der kartografischen Darstellung

Das Drehen der kartografischen Darstellung kann aus verschiedenen Gründen notwendig werden (z. B. Modifizierung der geodätischen Abbildung und bestmögliche Einpassung der Karte in kleine Bildanzeigen). Die Abhängigkeit der Gestalt grafischer Triviale von der Lage in der Bildpunktmatrix wurde ausführlich behandelt. Sie führt zur Lageabhängigkeit der Gestalt der gesamten Kartengrafik. Die Aussagen zu Mindestgrößen berücksichtigen bereits Abhängigkeiten von der Richtung der Signatur. Die Lage- und Richtungsabhängigkeit der Grafik wurde auch bei der Erarbeitung von Gestaltungsvorschlägen beachtet. Dabei wurde deutlich, dass vor allem Positionssignaturen und Muster, aber auch die Kartenschrift, in paralleler Lage zur Bildpunktmatrix verwendet werden sollten.

Die Einpassung solcher Kartenzeichen in die Bildpunktmatrix geht verloren, wenn die gesamte Karte gedreht wird. Die Grafikdeformation wird deutlich. Diese Bildstörung kann vermieden werden, indem beim Drehen die Änderung der Lage in der Bildpunktmatrix nur für Kartenzeichen vorgenommen wird, welche Lageinformation tragen, also lineare Kartenzeichen (Verkehrswege, Gewässer) und Flächen. Während der Treppeneffekt für Linien in allen Lagen nicht verhindert werden kann, ist er für Flächen ohne Kontur wenig störend.

Positionssignaturen sollten nicht gedreht werden, sondern bei Drehung der Karte ihre Lage in der Bildpunktmatrix beibehalten. Dieses Vorgehen ist möglich, da sie lediglich Lagetreue verkörpern. Für die Kartenschrift ist die Lage in der Bildpunktmatrix ebenso wichtig, vor allem wenn keine Bildverbesserung erfolgt. Abbildung 5.23 stellt eine kleinmaßstäbige Karte in ursprünglicher Lage dar (a), die unbearbeitet (b) und nach den genannten Grundsätzen (c) gedreht wurde.



Abbildung 5.23: Drehen der kartografischen Darstellung

5.7 Bearbeitung von Rasterdaten

Die bisher erarbeiteten Gestaltungsvorschläge sind in erster Linie auf eine Kartengrafik anwendbar, die aus Vektordaten abgeleitet wird. Die Lesbarkeit solcher Karten am Bildschirm kann durch die spezielle Bildverbesserung deutlich verbessert werden. Diese Art der Bildbearbeitung ist auf vorliegende, unbearbeitete Rasterdaten nicht anwendbar. Die Möglichkeiten der Bildverbesserung sind eingeschränkt, obwohl Antialiasing als allgemeine Bildverbesserung auch bei Rasterdaten wirkt (vgl. Abschnitt 4.5.3).

5.7.1 *Online-Karten*

Eine in Vektordaten gestaltete, fertige Karte kann gerastert werden. Diese Rasterung ist für die in Tabelle 2.7 als *Online-Karten* bezeichnete Anwendung der kartografischen Visualisierung bedeutsam. Für ihre Präsentation im Internet stehen Datenformate (GIF, JPEG) zur Verfügung, deren Komprimierung kurze Ladezeiten und schnellen Bildaufbau ermöglicht. Hohe Kompressionsraten unter steuerbarem Datenverlust erreicht die JPEG-Komprimierung, die PENNEBAKER/MITCHELL (1993) beschreiben. Die Farbtiefen der Bildformate sind sehr verschieden. GIF-Bilder arbeiten lediglich mit 256 Farben (Farbtiefe: 8 bit), JPEG-Bilder mit 16 777 216 Farben (Farbtiefe: 24 bit).

Ein weiteres Datenformat, das sich für die Visualisierung von Rasterdaten im Internet eignet, ist das PNG-Format (PNG = *Portable Network Graphics*). Seine Eigenschaften (Farbtiefen, Komprimierung) werden von ROELOFS (1999) beschrieben.

Eine geringere Farbtiefe ist für die Visualisierung kartografischer Darstellungen ausreichend, da bei ihnen homogene Flächen und wenige Farben auftreten. Die höchstens 256 Farben eines Rasterbildes in GIF sind nicht vordefiniert, sondern werden bis zu dieser Anzahl aus den Farbinformationen der Pixel belegt. GIF-Bilder können im *Interlaced*-Modus zur Verfügung gestellt werden, das heißt beim Bildaufbau wird zunächst nur jede zweite Zeile berücksichtigt. Bei der Präsentation im Internet kann der Bildinhalt durch dieses Verfahren schnell erkannt werden.

Die Verwendung von Datenformaten, die eine höhere Farbtiefe erlauben, ist sinnvoll, wenn die kartografische Darstellung großflächig Farbverläufe enthält. Die einzigen kartografischen Gestaltungsmittel, bei denen das der Fall ist, sind die Reliefwiedergabe durch Schummerung (Abschnitt 5.2.8) und die Unschärfedarstellung (Abschnitt 5.2.4). Für deren Präsentation im Internet eignet sich das JPEG-Format besonders. Der Datenverlust durch die Komprimierung ist bei der Schummerung kaum auffällig und nicht störend, eine Bearbeitung (z. B. Aufhellung) mit den Mitteln der digitalen Bildverarbeitung aber durchaus sinnvoll (vgl. Kartenproben 4 und 5, Abschnitt 5.8.3).

5.7.2 *Digitalisierte Landeskartenwerke*

Die Landesvermessungsämter und das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie stellen seit einigen Jahren digitalisierte Landeskartenwerke 1:50 000, 1:200 000 und die Übersichtskarte 1:1 Mill. auf CD-ROM blattschnittfrei zur Verfügung. Die Karten sind an diese Maßstäbe gebunden. Ein Bildpunkt repräsentiert dann gewöhnlich mehrere Pixel der Rasterkarten (vgl. Kapitel 4.3). Die grafischen Mängel einer solchen Darstellung wurden bereits in Abbildung 5.1 gezeigt. Die lesbare Darstellung in den Maßstäben der Kartenserien ist unter heute üblichen Bildpunktgrößen kaum möglich. Die von SPIESS (1996a) als zweckmäßig bezeichnete notwendige Vergrößerung auf den dreifachen Maßstab ist vorzuziehen.

5.7.3 *Erzeugung von Rasterkarten aus konventionellen Vorlagen*

Diese Methode kann zur deutlichen Verbesserung der Lesbarkeit von Rasterkarten beitragen und eine Alternative zur Visualisierung digitalisierter Kartenwerke darstellen. Filme und Folien konventioneller Vorlagen werden benötigt. Diese Vorlagen enthalten den Karteninhalt getrennt nach Farbe und Thematik (sog. Einzeldarstellungen). Die Vorlagen werden digitalisiert, aufeinander eingepasst, grafisch priorisiert und transparent übereinander gelegt. Sie sind so auszuwählen, dass Flächen dargestellt, Linien (z. B. Konturen) nicht mit in die Darstellung übernommen werden. Diese Auswahl wird begünstigt, da konventionelle Strich- und Flächendarstellungen im Kartenherstellungsprozess zunächst getrennt erzeugt und vorgehalten werden. Flächendarstellungen werden auf Abziehfolien (vgl. Abschnitt 2.5.2) gewonnen und zur Erzeugung von Farbflächen weiterverarbeitet. Für ausgewählte Karteninhalte ist das Verfahren in Abbildung 5.24 wiedergegeben. Dort wird gezeigt, dass auf diesem Weg vor allem in der Bildschirmvisualisierung schlecht lesbare Muster und Positionssignaturen aus der Karten-

grafik entfernt werden können. Auf Gebäudezeichen ist ebenfalls zu verzichten. Für die in Abbildung 5.24 gezeigten Einzeldarstellungen ist das hier dargestellte Verfahren zur Gewinnung einer lesbaren Kartengrafik leicht realisierbar. Schriften können aus konventionellen Vorlagen jedoch nicht verwendet werden, da die dort verwendeten Schriftgrade für die Bildschirmvisualisierung gewöhnlich zu klein sind. Unverzichtbare Beschriftungen können aber durch Bildverarbeitung ergänzt werden. Mit der Schrift entfällt auch die Darstellung kotierter Punkte. Zur Reliefwiedergabe verbleiben Schummerungen, die, falls als konventionelle Vorlage vorhanden, leicht für die Bildschirmvisualisierung aufbereitet werden können (vgl. Kartenproben 4 und 5).

Die Einzeldarstellungen liegen zunächst einfarbig vor. Sie müssen vor ihrer Kombination oder als letzter Schritt bildbearbeitet werden. Neben der Zuweisung der Farbe können im Zuge dieser Bildverarbeitung auch Inhalte beseitigt werden, welche die konventionellen Vorlagen enthalten und die nicht benötigt werden. In Abbildung 5.24 ist ein solches Beispiel die Uferlinie der Gewässerfläche.

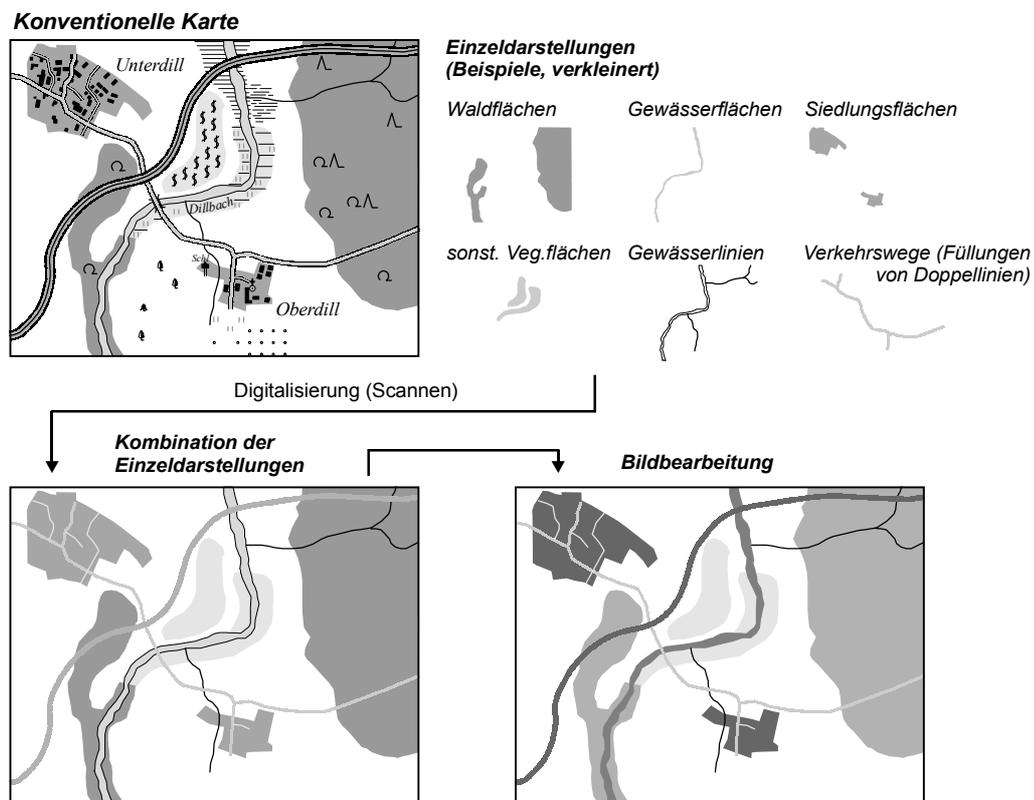


Abbildung 5.24: Erzeugung von Rasterkarten aus konventionellen Vorlagen

5.8 Luft- und Satellitenbildkarten für die Bildschirmvisualisierung

Die Visualisierung von Unschärfe und die Nutzung von Schummerungen zur Wiedergabe des Reliefs in Karten für die Bildschirmvisualisierung sind Beispiele für die Nutzung von Halbtönen. Das Gestaltungsmittel Halbton kann eingesetzt werden, ohne dass das Auge Bildstörung wahrnimmt. Daraus ist abzuleiten, dass Darstellungen, die ganz oder zum großen Teil aus Halbtönen bestehen, am Bildschirm besser lesbar sind als Strichgrafik. Solche Darstellungen sind Luft- und Satellitenbilder bzw. Luft- und Satellitenbildkarten. Beides sind Anwendungen, die in Tabelle 2.7 bereits genannt wurden und deren Nutzen zur Visualisierung am Bildschirm untersucht werden muss.

5.8.1 Unterschiede zur Karte

Zu Unterschieden zwischen Luft- bzw. Satellitenbild und topografischer Karte äußern sich z. B. GIERLOFF-EMDEN (1989) und ALBERTZ (1991). Dabei wird festgestellt, dass ein Bild im Gegensatz zur topografischen Karte nicht kartografisch generalisiert, nicht durch Kartenzeichen (Signaturen, Li-

nien, Flächen) symbolisiert und nicht durch Schriftzusätze erläutert ist. Diese Eigenschaften sind als Nachteile zu bewerten, die Zusammensetzung aus Halbtönen unter kartografischer Erläuterung durchaus als Vorteil.

5.8.2 Bildkarten

Die Verteilung der Grau- bzw. Farbwerte ermöglicht die Interpretation von Luft- und Satellitenbildern und gibt über Lagen, Größen und Formen der betrachteten Objekte Auskunft. Für Luftbilder wurden Interpretationsschlüssel entwickelt, in denen charakteristische Merkmale der Bilder systematisch zusammengestellt werden. Sie sind jedoch auf bestimmte Fragestellungen ausgerichtet und ersetzen Zeichenerklärungen von Karten in keiner Weise (ALBERTZ 1991).

Bildkarten sind aus entzerrten Luft- oder Satellitenbildern gewonnene, durch kartografische Ergänzungen und Erläuterungen erweiterte, kartenverwandte Darstellungen. Ergänzt werden im Bild nicht sichtbare Objekte (z. B. Wege). Lineare Strukturen (z. B. Gewässer, Verkehrswege) werden verdeutlicht, da sie im Bild schlecht erkennbar sind. Erläutert werden Objekte durch Beschriftung. Kartografische Ergänzungen sind des Weiteren das Kartengitter und Höhenlinien, die aus topografischen Karten stammen können. Luftbildkarten werden meist einfarbig gestaltet, Satellitenbildkarten auch mehrfarbig. Eine weitere Möglichkeit ist die Erarbeitung einer *naturnahen Grünversion* (HAKE/GRÜNREICH 1994). Die kartografische Ergänzung (meist weiß oder schwarz bei einfarbigen Bilddaten, schwarz bei mehrfarbigen Bilddaten) muss über genügend Kontrast zu den Halbtönen des Bildes verfügen. Aus Satellitenbildern werden Karten des mittleren Maßstabsbereichs 1:50 000 bis 1:250 000 und kleinmaßstäbige Karten hergestellt. Luftbildkarten decken den großmaßstäbigen Bereich und den Maßstab 1:25 000 ab (GIERLOFF-EMDEN 1989, ALBERTZ 1991).

5.8.3 Luft- und Satellitenbilder und Bildkarten in der Bildschirmvisualisierung

Luft- und Satellitenbilder und Bildkarten unterliegen in der Bildschirmvisualisierung prinzipiell den gleichen Beschränkungen wie auch andere Grafik. Für ihre Wiedergabe in einem bestimmten Maßstab ist eine Verkleinerung der Ausdehnung des Bildes notwendig, so dass ein Bildpunkt des Bildschirms mehrere Pixel des Bildes repräsentiert (vgl. Abschnitt 4.7.3). Der Grad dieser Verkleinerung ist jedoch bei Luft- und Satellitenbildern verschieden. Die Verkleinerung in einen bestimmten Maßstab bringt den Verlust der hohen Bodenauflösungen der Bilder im Zielmaßstab mit sich. Die folgenden zwei Beispiele verdeutlichen das.

Als erstes Beispiel wird ein fotografisches Luftbild mit der üblichen geometrischen Auflösung von 30 lp/mm (Linienpaare pro Millimeter, 60 Linien pro mm) und im Bildmaßstab 1:10 000 behandelt. Das Auflösungsvermögen kann im Bild gemessen werden und ist u. a. von den Eigenschaften des Fotomaterials abhängig. Fotografische Bilder werden digitalisiert, um sie am Bildschirm darstellen zu können. Die Digitalisierung kann unter hoher Pixeldichte (Auflösung) erfolgen, um Datenverluste zu vermeiden, nach obigem Beispiel mit etwa 1 500 dpi (600 p / cm). Nach den Beziehungen in Kapitel 4.3 würde das Bild stark vergrößert etwa im Maßstab 1:680 am Bildschirm wiedergegeben, wenn von einer Bildpunktgröße von 0,25 x 0,25 mm² ausgegangen wird. Um der Empfehlung einer zweckmäßigen dreifachen Vergrößerung von Rasterdaten von SPIESS (1996a) zu folgen, erfordert die Betrachtung eines Bildes des Maßstabs 1:10 000 auch bei etwa 1:3 300 eine gute Darstellungsqualität (1 Pixel = 1 Bildpunkt). Die verbleibende Verkleinerung des Bildes vom Maßstab 1:680 auf 1:3 300 wäre etwa fünffach.

Die Möglichkeiten der Reduktion der Bildausdehnung, manuelle Verkleinerung über die Funktionen in Grafikprogrammen oder geometrische Operationen der Bildverarbeitung (*Resampling*), sind teilweise mit sichtbaren Datenverlusten verbunden. In Tabelle 4.1 wurde dies für die Verkleinerung der Darstellungsgröße von Rasterbildern bereits gezeigt. Fraglich ist, ob Luftbilder mit hoher geometrischer Auflösung zur Herstellung von Karten im Maßstab 1:10 000 für die Bildschirmvisualisierung geeignet sind. Die Wahl eines größeren Maßstabs (1:5 000 und größer) und die Herabsetzung der Auf-

lösung beim Digitalisieren sind erforderlich, um sie für die Bildschirmvisualisierung verwenden zu können. Die Herabsetzung der Pixeldichte beim Digitalisieren ist hinnehmbar, da hohe Auflösungen von 30 lp / mm bis 50 lp / mm vom Auge nicht wahrnehmbar sind und in der Bildschirmvisualisierung (hier Vergrößerung eines Linienpaars auf zwei benachbarte Bildpunkte) der hohe Kontrast, unter dem hohe Auflösungsvermögen wahrgenommen werden, nur vereinzelt gegeben ist. Bei der notwendigen Digitalisierung kann darüber hinaus der vorgesehene Bildmaßstab für die Bildschirmvisualisierung berücksichtigt werden. Die Pixeldichten von etwa 300 dpi (118 p / cm) bis 400 dpi (157 p / cm) sind bei einer Bildschirmauflösung von etwa 100 dpi (39 p / cm) unter Berücksichtigung der von SPIESS (1996a) empfohlenen dreifachen Vergrößerung des Rasterbildes ausreichend.

Als zweites Beispiel werden digital vorliegende Satellitenbilder betrachtet. Die Aufnahmetechnik ist unerheblich. Für die beispielhaften Bodenauflösungen 10 x 10 m² pro Pixel und 30 x 30 m² pro Pixel ergeben sich unter der Bildpunktgröße von 0,25 x 0,25 mm² in der Bildschirmvisualisierung Maßstäbe von 1:40 000 und 1:120 000, wenn ein Pixel des Bildes durch einen Bildpunkt dargestellt wird (Kapitel 4.3). In diesen Fällen ist der Maßstabsunterschied zur Bildschirmkarte, z. B. der Zielmaßstäbe 1:100 000 und 1:250 000, wesentlich geringer. Die von SPIESS (1996a) als zweckmäßig angegebene Vergrößerung des Rasterbildes kann ohne Verlust der Darstellungsqualität mit hochauflösenden Ausgangsdaten berücksichtigt werden. Bilddaten der Bodenauflösung 30 x 30 m² eignen sich in der Visualisierung von Karten am Bildschirm besser in kleinen Maßstäben (1:350 000 und kleiner).

Die Bildstörung ist wegen der Zusammensetzung der Bilder aus Halbtönen kaum auffällig. Der Treppeneffekt tritt wegen der Nachbarschaft von Grau- bzw. Farbwerten geringer Tonwertunterschiede in den Hintergrund. Damit wird auch die allgemeine Bildverbesserung durch Antialiasing für das Bild überflüssig. Die digitale Bildverarbeitung bietet dagegen Möglichkeiten zur Verbesserung der Erkennbarkeit des Bildinhalts und damit zur Erleichterung der Bildinterpretation. Zu dieser Art der Bildverbesserung liegt heute umfangreiche Fachliteratur vor. Einen Überblick gibt ALBERTZ (1991). Eine detaillierte Behandlung der Bildbearbeitung erfolgt z. B. in BÄHR/VÖGTLE (1991) und KRAUS (1990). Mit Kontrastverbesserung werden die Grauwerte eines Bildes über die gesamte Grauwertskala verteilt. Der Bildinhalt tritt deutlicher hervor. Die farbliche Gestaltung kartografischer Ergänzungen muss die Kontrastverbesserung berücksichtigen. Durch geeignete Filteroperationen kann die Detailwiedergabe des Bildinhalts, durch Farbtransformationen die Farbwiedergabe verbessert werden.

Die kartografische Ergänzung eines einfarbigen (panchromatischen) Bildes muss mehrfarbig erfolgen. Das Halbtonbild wirkt als abgedunkelter Hintergrund zur Vermeidung von Überstrahlungserscheinungen. Wege sollten als braune oder schwarze Linien wiedergegeben werden. Im Bild nicht sichtbare Wasserläufe können blau dargestellt werden. Die Bodenbedeckung ist im Luftbild interpretierbar. Am Bildschirm können diese und andere Flächen, z. B. die von Siedlungen, durch transparente Flächenfarben hervorgehoben werden. Grenzen können durch rote, violette oder grüne Linien dargestellt werden. Die Schriftfarbe hängt von den Grauwerten des Bildes ab. Vorstellbar ist sowohl weiße als auch schwarze Schrift sowie Schrift in leuchtender Farbe (z. B. gelb). Für Linienstärken und Schriftgrößen gelten die festgelegten Mindestmaße für die Bildschirmvisualisierung.

Für ein farbiges Bild ist eine einfarbige oder zweifarbige kartografische Ergänzung von Vorteil. Der Umfang der Ergänzungen reduziert sich dadurch. Verkehrswege sollten durch schwarze, Gewässer durch blaue Linien dargestellt werden. Schwarz eignet sich auch zur Wiedergabe der Schrift.

Ein wesentlicher Nachteil der Visualisierung von Luft- und Satellitenbildkarten am Bildschirm im Vergleich zu Karten ist die fehlende Reliefwiedergabe. Sie kann nicht durch Schummerung oder Höhenschichten erfolgen. Lediglich ausgewählte kotierte Punkte können dargestellt werden, die nur über die Höhe an wenigen Stellen Auskunft geben.

6 Kartografische Interaktion

6.1 Begriffsbestimmung

Eine *Interaktion* ist im Allgemeinen eine wechselseitige Beeinflussung des Handelns von mindestens zwei Personen. Der Interaktionsbegriff hat sich auf dem Gebiet der elektronischen Datenverarbeitung als Ausdruck für einen Dialog, für die gegenseitige Beeinflussung von Mensch und Maschine, etabliert. Von *Interaktivität* wird gesprochen, wenn der Systemfluss durch menschliches Handeln beeinflusst wird.

Kartografische Interaktion ist ein Prozess der Kommunikation, dessen wesentliches Merkmal die Übermittlung und der Austausch von Information ist (BUZIEK 1997a). Der Nutzer tritt mit der kartografischen Darstellung in einen Dialog, der die Informationsgewinnung, die Verdeutlichung des Dargestellten und die grafische und inhaltliche Einflussnahme durch den Leser ermöglicht bzw. zum Ziel hat.

GARTNER (2000b) sieht drei Gruppen der kartografischen Interaktion:

- die Auswahl verschiedener Kartenausschnitte und verschiedener Maßstäbe,
- die Gewinnung von Zusatzinformationen, die nicht im Kartenbild ersichtlich sind und
- die grafische Interaktion, welche die Gestaltung durch den Leser beinhaltet.

Die beiden zuerst genannten Interaktionsformen werden durch geeignete Benutzerführungen realisiert. Im Kapitel 6.5 wird verdeutlicht, dass die grafische Interaktion dies ebenfalls erfordert.

Im Umfeld der interaktiven kartografischen Visualisierung haben sich Bezeichnungen für Karten in der Bildschirmvisualisierung herausgebildet, bei denen kartografische Interaktivität eine Rolle spielt. Häufige Schlagworte sind *interaktive*, *animierte* und *dynamische* Karte. Im Folgenden wird der Versuch unternommen, die aus den Ansichten verschiedener Autoren resultierenden Bezeichnungen zu charakterisieren. Eine klare Trennung zwischen ihnen ist jedoch nicht möglich.

Der Begriff *Interaktivität* wurde bereits charakterisiert. *Animation* bezeichnet Verfahren, bei denen unbewegten Objekten Bewegung verliehen wird. *Dynamik* beschreibt einen Sachverhalt, der eine Bewegung im Sinne von Entwicklung aufweist. In der Physik bezeichnet Dynamik die Einwirkung von Kräften bzw. eine Bewegung, die durch diese Kräfte hervorgerufen wird. In der thematischen Kartografie versteht man unter *dynamischer Karte* eine Darstellung, die Veränderungen durch geeignete grafische Mittel widerspiegelt.

Animierte Karten sind meist mit der Nutzung audio-visueller Medien verbunden, um welche die Karte erweitert wird. Die Bezeichnung *dynamische Karte* ist für diese Art der Darstellung nicht zweckmäßig, da die Art der Information hier keine Veränderung im Kartenbild verursacht. Zum Begriff *interaktive Karte* existieren inzwischen Definitionen und Charakteristiken verschiedener Autoren. ASCHE (1996) sieht in ihr ein grafikorientiertes Instrument zur Geodatenverarbeitung und -nutzung. Voraussetzung für ihre Nutzung sind Wahlmöglichkeiten am Bildschirm, Instrumente zur Ausführung der Wahl und eine erkennbare Systemreaktion. PETERSON (1995) sieht vier Bestandteile, die zur interaktiven Karte gehören: der Kartennutzer, der Computer, ein Zeigegerät (Cursor, z. B. Maus) und eine grafische Benutzeroberfläche. Er nennt mit elektronischen Atlanten, Karten zur Navigation und Datenanalyse drei Anwendungen interaktiver Karten.

KRAAK/TIJSSSEN (1993) unterscheiden drei Kartentypen, durch die zeitliche und thematische Information bzw. Variationen wiedergegeben werden können. Diese sind die *statische Karte*, die *Kartenserie* als Folge statischer Karten und die *animierte Karte*, bei welcher die Animation im Kartenbild statt-

findet. PETERSON (1995) stellt ebenfalls fest, dass die einfachste Form der animierten Karte die Kartenserie ist, wobei die einzelnen Karten nach zeitlichen oder thematischen Gesichtspunkten aufeinander folgen. Für die animierte Karte verwenden andere Autoren den Begriff dynamische Karte (vgl. z. B. BERLYANT/USHAKOVA 1993).

KRAAK/BROWN (2001) unterscheiden bei kartografischen Darstellungen im Internet zwischen *nicht-dynamischen (non-dynamic)* und *dynamischen Karten (dynamic)* und untergliedern weiter in *nicht-interaktive (non-interactive)* und *interaktive Karten (interactive)*. Das Schema zu Methoden der Internetkartografie (KRAAK/BROWN 2001, Abbildung 6.1) mit der Unterscheidung zwischen *interaktiv* und *dynamisch* kann auf kartografische Darstellungen außerhalb des Internets verallgemeinert werden. Die Begriffe statisch und dynamisch beziehen sich auf die Kartengrafik selbst. Interaktionen sind nach dieser Betrachtungsweise auch in der statischen Kartengrafik möglich.

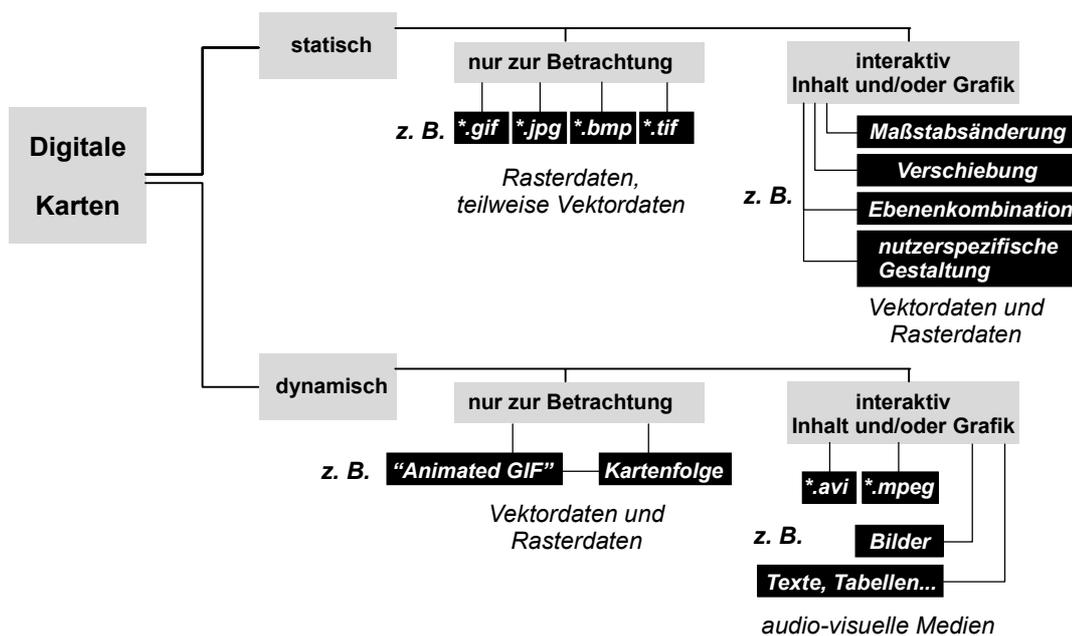


Abbildung 6.1: Arten digitaler Karten (Classification of web maps, nach KRAAK/BROWN 2001, erweitert)

DRANSCH (1995 und 1997) sieht im interaktiven Potenzial das optionale Kombinieren verschiedener Geoobjektklassen, die Veränderungen des Raumausschnitts, des Maßstabs, der Datenaufbereitung und Gegenstände der nontemporalen Animation. Letztere beinhaltet die nutzerspezifische Gestaltung von Inhalt und Grafik (PETERSON 1996).

BUZIEK (1997b) betrachtet eine Karte als dynamische Darstellung, wenn der Nutzer die beeinflussende, aktive Systemkomponente ist. Darstellungen mit dynamischen Prozessen, auf die der Nutzer nur bedingt Einfluss nehmen kann, bezeichnet er als *kinematisch*.

Die zahlreichen Betrachtungen zu Interaktionen, Animationen und Dynamik in der kartografischen Darstellung resultieren aus dem Verlangen, die digitale Karte um bewegte Bilder und um verbale Information zu ergänzen, um ihren Informationsgehalt zu erhöhen. Ein anderer ebenso wichtiger Gesichtspunkt ist jedoch, durch Interaktionen der Karte die Information wiederzugeben, die wegen der notwendigen Vereinfachung des Kartenbildes für die Bildschirmvisualisierung nicht dargestellt werden kann. Die Beschränkungen des Bildträgers bedingen nach dieser Betrachtung solche Interaktionen, die sich in einer bestimmten Weise auch auf die Kartengestaltung auswirken. Sie werden in den folgenden Kapiteln behandelt. Dabei erfolgen Hinweise auf ausgewählte Problematiken, ohne zu versuchen, mit den vorgeschlagenen Lösungen Vollständigkeit zu erzielen.

6.2 Interaktive Wahl von Position und Maßstab

Die Darstellungsfläche ist durch die Größe des Bildschirms beschränkt. Die Kartenbetrachtung an Monitoren erfolgt mit Hilfe von Grafikprogrammen, so dass die Größe des Kartenausschnitts durch Symbolleisten und Steuerungselemente zum Teil beträchtlich eingeschränkt ist. Aus diesem Grunde ist die interaktive Bestimmung der Position erforderlich, wenn die Karten im vorgesehenen Maßstab größer als die Darstellungsfläche sind. Die Änderung der Position ist eine Grundfunktion im Bereich der grafischen Datenverarbeitung, deren technische Eigenschaften im Kapitel 4.8 behandelt wurden.

Die Maßstabsänderung kann stetig oder diskret sein oder durch Fensterzoom erfolgen (vgl. Abschnitt 4.7.1). Bei der diskreten Maßstabsänderung ist die Darstellungsgröße an bestimmte Maßstäbe gebunden (z. B. 1:100 000, erste Vergrößerungsstufe: 1:50 000, zweite Stufe: 1:25 000). Die Vergrößerung durch *Fensterzoom* lässt sich keiner dieser Techniken direkt zuordnen. Die Festlegung des Bereichs, in den vergrößert wird, erfolgt individuell. Dabei können beliebig viele verschiedene Darstellungsgrößen entstehen (Ähnlichkeit zur stetigen Änderung). Ein stufenloser Übergang von einem Maßstab zum nächsten ist jedoch nicht möglich (Ähnlichkeit zur diskreten Änderung).

Die technischen Eigenschaften der Änderung der Darstellungsgröße, Maßstabsabhängigkeit und -unabhängigkeit der Grafikelemente, wurden im Kapitel 4.7 behandelt. Für eine statische Karte (passive Karte, Betrachtungskarte, vgl. Abschnitt 2.6.3) in der Bildschirmvisualisierung erschöpfen sich mit diesen Eigenschaften die Möglichkeiten der Maßstabsänderung. Lediglich eine Betrachtung des Maßstabsbereichs, innerhalb dessen die Änderung vollzogen werden kann, ist erforderlich.

Die Beziehungen bei der Maßstabsänderung sind komplexer, wenn die Änderung der Darstellungsgröße mit einer Modifizierung des Inhalts der Karte verbunden wird. Dieses interaktive Potenzial wird als *intelligentes Zoom* bezeichnet (Abschnitt 6.2.2, STROTHOTTE 1998). Das Verfahren erlaubt die Erhaltung der grafischen Dichte der Karte in jedem Maßstab. Es erfordert die Anpassung der Kartengestaltung an den Maßstab bzw. den Maßstabsbereich (Qualitätsumschlag) sowie die Vorhaltung verschiedener Kartendaten für die unterschiedlichen Maßstäbe.

6.2.1 Maßstabsbereich bei statischen Karten

Statische Karten sind solche, bei denen Maßstabsänderung und Verschiebung die einzigen interaktiven Funktionalitäten sind, z. B. digitalisierte konventionelle Karten (Rasterkarten). Sie können aber auch für die Bildschirmvisualisierung gestaltet sein (Raster- oder Vektordaten). Für Rasterkarten ist eine Maßstabsänderung im Sinne einer Vergrößerung von Bedeutung, da die grafische Dichte des konventionellen Kartenbildes die Lesbarkeit im vorgesehenen Kartenmaßstab oft nur teilweise erlaubt (Darstellungsgröße 100 %, vgl. Abbildung 5.1). Die von SPIESS (1996a) empfohlene dreifache Vergrößerung für solche Rasterdaten sollte in jedem Fall ausreichen.

Die Gestaltung für die Visualisierung am Bildschirm überwindet die Einschränkung der Lesbarkeit von Karten. Demzufolge trägt die Vergrößerung des Maßstabs nicht zur Verbesserung der Lesbarkeit bei. Die Erkennbarkeit einiger Details erhöht sich bei Vergrößerung dennoch, vor allem wenn keine allgemeine Bildverbesserung angewandt wurde. Die Betrachtung der Kartenproben des beiliegenden Datenträgers in der Originalansicht (s. Informationen zum Datenträger am Ende dieser Arbeit) und vergrößert belegt, dass der Informationszuwachs bei Betrachtung unter größerem Maßstab unwesentlich ist.

6.2.2 Intelligentes Zoom

Für die kartografische Darstellung ist mit der Bildschirmvisualisierung zunächst kein Anstieg des Informationsgehalts verbunden. Die im Kartenbild dargestellte Informationsdichte muss im Vergleich zu konventionellen Karten teilweise sogar stark verringert werden. Mit dem intelligenten Zoom wird

die Anpassung des Karteninhalts an den gewählten Maßstab erreicht. Das Verfahren ist eine wesentliche interaktive Funktion.

Das intelligente Zoom ermöglicht mit jeder Vergrößerungsstufe die Erhöhung des Informationsgehalts und die Steigerung der Detailtreue der Karte. Es erfordert aber für jeden Maßstab separat vorgehaltene Daten verschiedener Abstraktionsgrade und kartografischer Generalisierungen. Deshalb zieht das intelligente Zoom bei stetiger Maßstabsänderung unvermeidlich Sprünge im Zugewinn an Inhalten nach sich. Für die diskrete Maßstabsänderung, die z. B. einige Maßstäbe der Maßstabsreihe (1:1 Mill., 1:500 000, 1:200 000 usw.) nutzt, eignet es sich dagegen gut.

Das intelligente Zoomen ist nicht auf Vektordaten beschränkt. Die notwendige Datenvorhaltung kann auch in Rasterdaten erfolgen. Allerdings ist Kartengestaltung zunächst an Vektordaten gebunden. Der inhaltliche Abstraktionsgrad für Karten der Bildschirmvisualisierung kann aus den Tabellen 5.9 bis 5.12 entnommen werden. In den verschiedenen Maßstabsbereichen ändern sich auch die Lagemerkmale. Diese Problematik wird im Kapitel 5.2 intensiv behandelt. Die Änderung des Lagemerkmals (grundrisstreu nach grundrissähnlich oder lagetreu bei Verkleinerung und umgekehrt) ist mit dem *Qualitätsumschlag* verbunden. Der Qualitätsumschlag beschreibt den Übergang von einem Darstellungsmittel (zum Beispiel Fläche) zum anderen (z. B. Signatur) bei Maßstabsänderung. Seine Eigenschaften können ebenfalls aus den Tabellen 5.9 bis 5.12 herausgelesen werden.

Im Gegensatz zu statischen Karten ist prinzipiell keine Begrenzung des Maßstabsbereichs erforderlich, wenn die Änderung der Darstellungsgröße durch intelligentes Zoom vollzogen wird. Vorstellbar ist, dass die Spanne verfügbarer Maßstäbe vom kleinen bis zum großen Maßstabsbereich reicht. Ein solcher Umfang an vorzuhaltenden Daten ist natürlich mit hohem Erfassungsaufwand verbunden.

Die Größe der Kartenzeichen (Signaturen, Linien, Schrift) ist davon abhängig, ob die Grafikelemente maßstabsabhängig oder –unabhängig sind. Maßstabsabhängige Grafikelemente bringen prinzipiell Vorteile für die kartografische Visualisierung. Das intelligente Zoom bzw. die verschiedenen, vorgehaltenen Daten eröffnen die Möglichkeit, beide Verfahren zu verknüpfen. Dies erscheint vor allem dann sinnvoll, wenn Positionssignaturen, Schrift und Linien, die im kleinen Maßstab zweckmäßigerweise in der Mindestgröße dargestellt werden, in der maßstabsabhängigen Vergrößerung übermäßig groß bzw. breit erscheinen. Für einen solchen Fall eignet sich in einer ersten Vergrößerungsstufe eine Karte mit Grafikelementen, die maßstabsunabhängig sind, für die Darstellung in einer zweiten Stufe gegebenenfalls eine solche mit maßstabsabhängiger Grafik. Abbildung 6.2a) zeigt ein Beispiel ohne Berücksichtigung des Qualitätsumschlags. In Abbildung 6.2b) wird weiter davon ausgegangen, dass die zweite Vergrößerungsstufe mit einer Anpassung des Inhalts an den Maßstab verbunden ist. In diesem Fall kann durchaus an der Maßstabsunabhängigkeit der Grafikelemente festgehalten werden. Die Überzeichnung von Linien (Verkehrswege, Gewässer) wird so vermindert. Abbildung 6.2b) zeigt außerdem, dass das intelligente Zoom auch die Platzierung der Kartenschrift beeinflusst.

6.2.3 Weitere Formen der Vergrößerung

Die Lupenfunktion bewirkt eine wesentliche Vergrößerung eines sehr begrenzten Bildausschnitts in heute existierender Betrachtungssoftware (z. B. PCMap, TOP 50). Abbildung 6.3a) zeigt für sie ein Beispiel.

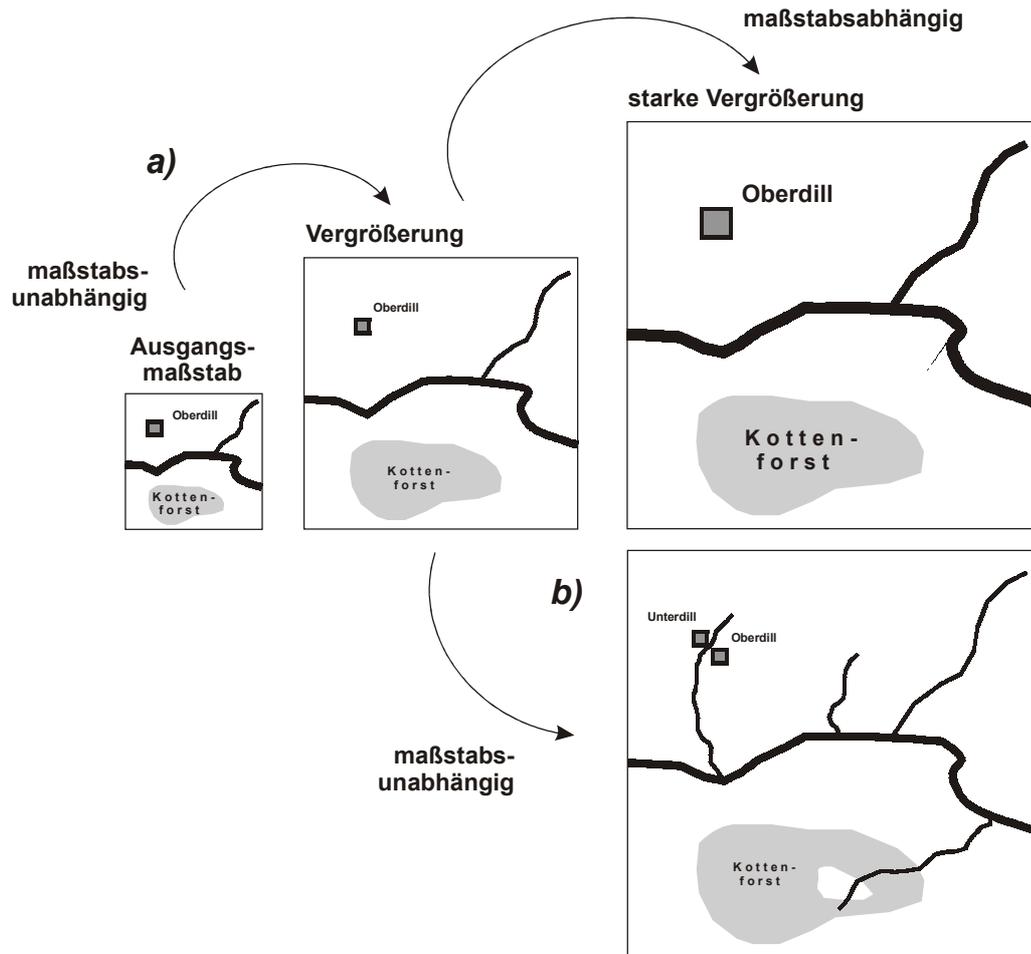


Abbildung 6.2: Maßstabsabhängigkeit und Maßstabsunabhängigkeit der Grafikelemente beim intelligenten Zoom

Abbildung 6.3a) zeigt deutlich, dass der Informationsgehalt bei Anwendung der Lupe eher sinkt als steigt. Dies gilt für Darstellungen aus Vektor- und Rasterdaten gleichermaßen. Die Lupenfunktion kann lediglich für Rasterdaten angewandt werden, wenn deren Erfassungsauflösung nicht auf die normale Betrachtungsgröße, sondern auf jene der Lupe abgestimmt ist und bestimmte Aufgaben, z. B. die Koordinatenbestimmung, durchzuführen sind.

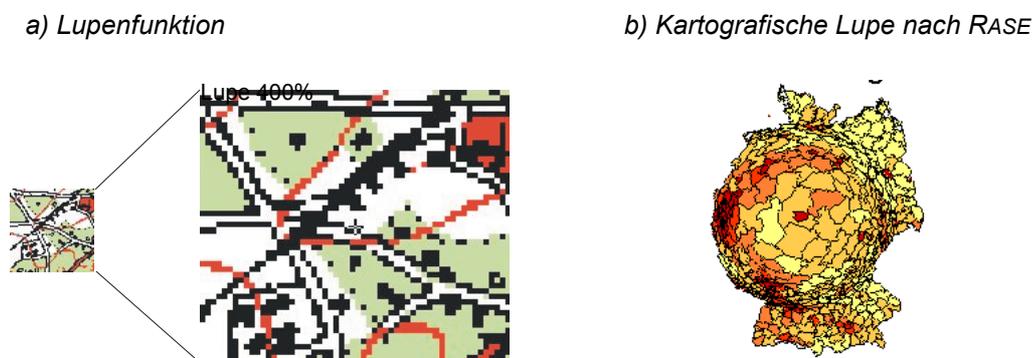


Abbildung 6.3: Lupen

Eine effiziente Form der kartografischen Lupe beschreibt RASE (2000). Bei ihr wird ein Ausschnitt der Darstellung vergrößert, ohne dass der visuelle Zusammenhang mit der Umgebung unterbrochen wird (kartografische Lupe). Das gleiche Prinzip erläutert STROTHOTTE (1998) und bezeichnet es als Fischaugen-Vergrößerung (*fish-eye zoom*, Abbildung 6.3b).

Die grafische Dichte des Kartenbildes der verschiedenen Maßstäbe sollte etwa jener des Ausgangsmaßstabs entsprechen. Die Überlastung des Folgemaßstabes ist zu vermeiden. Dafür spielen die etwa gleiche Anzahl von Kartenzeichen auf einer bestimmten Fläche bzw. der Erhalt der *Zeichnungsmenge* (TÖPFER 1983) eine Rolle.

Um die grafische Dichte des Grundmaßstabs etwa zu erhalten, dürfen der Karte bei Vergrößerung neue Inhalte nur in angemessenem Umfang hinzugefügt werden. Vor allem Darstellungen mittlerer Maßstäbe, z. B. solche im Maßstab 1:50 000 und 1:100 000, dürfen grafisch nicht überlastet werden. Ihre grafische Dichte ist gemessen an Karten für die Bildschirmvisualisierung, nicht an konventionellen Karten, recht hoch (vgl. mittelmaßstäbige Kartenproben auf dem beiliegenden Datenträger).

Für geeignete Karten in der Bildschirmvisualisierung ist es möglich, die grafische Dichte in großen Maßstäben im Vergleich zu mittel- und kleinmaßstäbigen Karten etwa beizubehalten. Beim Vergleich konventioneller Karten fällt auf, dass sie im großen Maßstab am geringsten ist. Im mittleren Maßstabsbereich nimmt die Dichte vom größeren (1:25 000) zum kleineren Maßstab (1:200 000) zu. Beim allgemeinen Übergang von der Signatur zu Linie und Fläche bzw. vom mittleren zum kleineren Maßstabsbereich nimmt sie ab. Die den Anforderungen der digitalen Bildanzeige genügende Kartengrafik weist andere Eigenschaften auf. In die großmaßstäbige Karte kann der Großteil der Informationen ihres konventionellen Äquivalents übernommen werden, abgesehen von Schriften, kleinen Flächen und Höhenlinien. Ihre grafische Dichte muss keinesfalls geringer als die der kleineren Folgemaßstäbe sein. Durch das intelligente Zoom müssen dafür beim Übergang von 1:25 000 nach 1:10 000 mehr Inhalte ergänzt werden, als dies für alle übrigen Vergrößerungen der Fall ist. An Hand der auf dem Datenträger beiliegenden Kartenproben kann weiter festgestellt werden, dass die grafische Dichte in den Maßstäben 1:50 000 und 1:100 000 (Proben 6, 7 und 8) etwa gleich, aber höher als im Beispiel 1:25 000 (Proben 4 und 5), ist. In den Maßstäben 1:200 000 und kleiner (Kartenproben 9 bis 17) ist ihre Abnahme deutlich sichtbar. Hier sind Unterschiede zur konventionellen Kartografie feststellbar. Es bleibt jedoch offen, ob von den genannten Kartenproben ausgehend eine Verallgemeinerung dieser Aussagen auf alle für Bildschirme gestaltete topografische Darstellungen möglich ist.

6.2.4 Orientierungshilfsmittel

Durch geeignete Orientierungshilfsmittel muss vermieden werden, dass der Nutzer bei Vergrößerung der Karte die Orientierung verliert. Solche Hilfsmittel sind

- die Übersichtsdarstellung,
- Maßstabs- und Koordinatenangaben.

Nach SPIESS (1996a) ist die Abbildung einer auf 40% verkleinerten generalisierten Version der Karte zu schaffen, um einen Gesamtüberblick am Bildschirm zu bekommen. Diese Form der Orientierungshilfe wird im Folgenden als Übersichtsdarstellung bezeichnet. Sie kann mit verschiedenen Funktionen ausgestattet werden.

Abbildung 6.4 zeigt gewünschte Funktionen einer solchen Übersichtsdarstellung. Danach wird ihr Inhalt bei Änderung der Position des Zeigegeäts (Cursorpositionen 1 und 2) aktualisiert. Die Übersichtsdarstellung informiert dadurch ständig über Lage bzw. Verlauf von Objekten und deren Beziehung zu anderen Objekten, wenn dies die Größe der dargestellten Objekte zulässt. Eine Maßstabs- oder Größenänderung der verkleinerten Ansicht bei Maßstabsänderung der Hauptkarte ist nicht erforderlich. Eine solche Änderung wäre unzweckmäßig, da ein Orientierungsverlust dann auch in dieser Darstellung auftreten kann. Bei Verschiebung des Kartenausschnitts wird die Übersichtsdarstellung entgegen der Verschiebungsrichtung nachgeführt. Die Lage des aktuellen Kartenausschnitts kann z. B. durch einen rechteckigen Rahmen markiert werden. Bei Maßstabsänderung variiert die Größe dieses Rahmens (Abbildung 6.4). Die Angabe bedeutender topografischer Objekte oder Erscheinungen in der Übersichtsdarstellung, z. B. Siedlungen oder Grenzen, trägt weiter zur Wahrung der Orientierung bei.

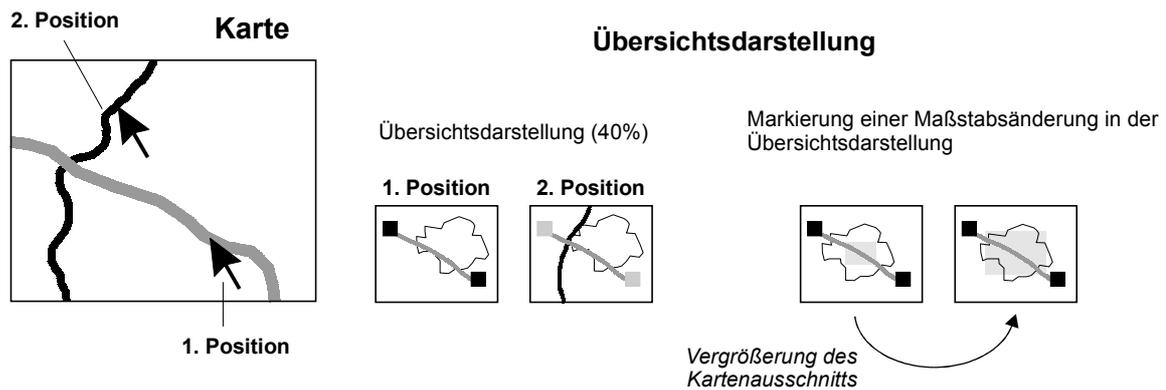


Abbildung 6.4: Übersichtsdarstellung

Weitere Orientierungshilfen sind die Angaben von Koordinaten und Maßstab. Die Koordinatenangabe kann am Rand der Karte oder außerhalb des Kartenfeldes erfolgen. Zur Vereinfachung der Orientierung ist die Angabe durch ein Koordinatengitter im Kartenbild sinnvoll. Eine Alternative stellt die permanente Koordinatenanzeige der Mauszeigerposition in einem Bereich außerhalb des Kartenfensters (Statusleiste, vgl. Kapitel 6.4) dar. Als Orientierungshilfe ist diese Form der Koordinatenangabe jedoch weniger geeignet. In jeder Vergrößerungsstufe muss gewährleistet sein, dass für Länge und Breite bzw. Rechts- und Hochwert mindestens eine Netzlinie, besser aber zwei Linien und die zugehörigen Koordinaten angegeben werden (Abbildung 6.5). Aus der Wiedergabe zweier Netzlinien kann sich für den Leser eine Maßstabsinformation ergeben. Koordinatengitter müssen in die vorgehaltenen Daten der verschiedenen Maßstäbe mit unterschiedlichem Abstand zwischen den Netzlinien gespeichert werden.

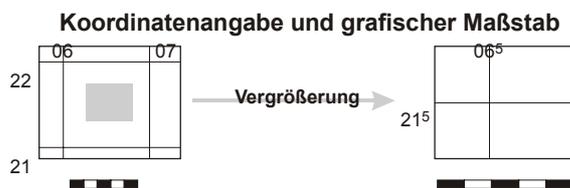


Abbildung 6.5: Maßstabs- und Koordinatenangabe als Orientierungshilfe

Weiter unterstützt wird die Orientierung im Kartenfeld durch die Maßstabsangabe und die Kartenschrift. Die Angabe des Maßstabs kann sich ebenfalls an konventionellen Karten orientieren, also durch grafischen oder numerischen Maßstab erfolgen. Letztere ist jedoch wegen der Abhängigkeit der Darstellungsgröße von Bildpunktgröße und Auflösung des Bildschirms weniger geeignet. Außerdem können durch *Fensterzoom* zufällige Maßstäbe entstehen. Angaben wie „Betrachtung aus einer Höhe von 500 km“ und ähnliche Informationen eignen sich wenig, da sie für den Benutzer keine direkte Maßstabsinformation enthalten. Sie sind nur für Luft- und Satellitenbilder bzw. Bildkarten als Zusatzinformation zu gebrauchen.

6.3 Legendengestaltung

Die Zeichenerklärung hat für die Kommunikation zwischen Nutzer und Karte besondere Bedeutung. In ihr werden die in der Karte verwendeten Signaturen und Symbole erläutert. In konventionellen Karten erfolgt diese Erläuterung in einem separaten, von der kartografischen Darstellung getrennten, oft umfangreichen Legendenfeld. Für die Kartengrafik an Bildschirmen sind andere Formen der Zeichenerklärung nutzbar. Die geringe Größe des Monitors lässt gewöhnlich keinen Platz für eine statische Legendenwiedergabe für alle Kartenzeichen. Die interaktiv gesteuerte Visualisierung bietet einige Möglichkeiten der Legendengestaltung, mit der die Interpretierbarkeit des Karteninhalts gefördert werden kann. Der Gestaltung von Legenden widmen sich z. B. LUTTERBACH (1997) und BUZIEK

(1997b). BUZIEK (1997b) behandelt die Wiedergabemöglichkeiten der Zeichenerklärung für kinematische und dynamische kartografische Darstellungsformen ausführlich und gibt zahlreiche Beispiele.

Am und im Kartenbild verwendbare Legendenformen sind

- separate Legendenfelder,
- Legendenfenster und
- temporäre Legendeninformation.

Separate Legendenfelder entsprechen nach Form und Inhalt Zeichenerklärungen konventioneller Karten. Eine solche Zeichenerklärung ist für die Bildschirmvisualisierung zur Erklärung statischer Karten geeignet. Im Legendenfeld werden alle Inhalte der Karte erläutert. Die Gestaltung der schriftlichen Erklärungen erfordert jedoch ebenso einen ausreichenden Schriftgrad wie die Kartenschrift selbst.

Legendenfenster sind im Kartenfeld frei beweglich und können nach Inhaltsgruppen getrennt werden. Ein Vorteil dieser Legendenform ist, dass die räumliche Distanz zwischen dem Kartenzeichen und seiner Erklärung verkleinert wird. Durch Legendenfenster reduziert sich jedoch die Darstellungsfläche. Die temporäre Legendeninformation wird auch als *Online-Hilfe* (LUTTERBACH 1997) bezeichnet. Sie ist im Kartenfeld nicht vorhanden und wird aktiviert, wenn das Zeigegerät über das Kartenzeichen geführt wird. Die erläuternde Information wird eingeblendet. Die Größe der Darstellungsfläche wird durch temporäre Legendeninformationen nicht beeinflusst. Mehrere Erläuterungen können gewöhnlich jedoch nicht gleichzeitig angezeigt werden.

6.3.1 Legendenfenster

Auf Vorteile der Nutzung von Legendenfenstern wurde bereits hingewiesen. Die Betrachtung von BUZIEK (1997b) zu kinematischen und dynamischen kartografischen und kartenverwandten Darstellungen lässt sich auf Legendenfenster erweitern. Ein Fenster kann als *kinematisch* bezeichnet werden, wenn es wie beschrieben an jede beliebige Stelle des Kartenbildes verschoben werden kann.

Das *dynamische* Legendenfenster unterscheidet sich von diesem wie in Abbildung 6.6 gezeigt. Seine Informationen werden angepasst, wenn Ebenen der Darstellung oder Inhalte einer Ebene ein- oder ausgeschaltet werden (Die Problematik der Ebenenkombination wird im Kapitel 6.5 behandelt.). Die im Kartenfenster nicht abgebildeten Informationen werden grau unterlegt als inaktiv gekennzeichnet oder aus dem Legendenfenster entfernt. Ebenso kann das gesamte Fenster entfernt werden, wenn keine Information der betreffenden Ebene dargestellt wird. Die Kennzeichnung als inaktiv hat den Vorteil, dass dem Kartennutzer vermittelt wird, über welche Inhalte die Karte verfügt. Sie hat im Vergleich zum Löschen der Legendeneinträge bzw. –fenster den Nachteil, dass Inhalte in der Legende stehen, die das Kartenbild zu einem Zeitpunkt nicht enthält. Der von den Legendenfenstern beanspruchte Platz steht darüber hinaus nicht zur Verfügung.

Legendenfenster eignen sich für die Erklärung der Bedeutung des Karteninhalts, weniger für die namentliche Kennzeichnung von Objekten. Sie haben auch den Vorteil, dass sie leicht an den veränderten Karteninhalt beim intelligenten Zoom angepasst werden können.

6.3.2 Temporäre Legendeninformation

Temporäre Legendeninformationen sind jene, die dem Nutzer nicht ständig zur Verfügung stehen. Sie werden eingeblendet, wenn er eine bestimmte Aktion ausführt, z. B. die Markierung oder Berührung des Kartenzeichens durch MO-Funktion (*mouse-over-Funktion*). In der Kartengrafik selbst ist eine solche Legendeninformation nicht realisierbar. Der Legendenbereich ist das Kartenzeichen selbst, das in Rasterdaten durch meist von geodätischen Koordinaten unabhängige Bildkoordinaten identifiziert wird. In einer Kartengrafik aus Vektordaten sind diese Koordinaten zum Beispiel aus Koordinaten von Linien leicht bestimmbar.



Abbildung 6.6: Dynamische Legendenfenster

Die durch die MO-Funktion erläuterten Kartenzeichen werden gewöhnlich als Fläche betrachtet. Auch Positionssignaturen sind in diesem Sinne Flächen. Der Bereich, in dem die MO-Funktion wirksam werden soll, kann leicht bestimmt werden und ist exakt abgrenzbar. Der Einsatz der temporären Legendeninformation eignet sich vor allem für die namentliche Kennzeichnung von Positionssignaturen, die nicht im Kartenbild beschriftet werden können, wie z. B. Ortssignaturen und Einzelzeichen. Wichtig ist jedoch, dass die Kartengrafik immer die wesentlichen Beschriftungen als erläuternde Elemente, etwa zu Flächen und großen Siedlungen, enthalten muss. Sie darf nicht zu einer „stummen“ Karte werden. Als einzige Form der Zeichenerklärung ist die temporäre Legendeninformation ungeeignet, wenn das Kartenbild nur wenig Schrift enthält. Bei genügender Kartenschrift kann sie verstärkt eingesetzt werden. Daneben eignet sie sich für Flächen, deren geringe Größe die Beschriftung im Kartenbild nicht zulässt. Die MO-Funktion kann auch zur Erläuterung linearer Kartenzeichen beitragen. Dies wurde bereits in Abschnitt 5.2.5 (Abbildung 5.15) angedeutet.

Die durch MO-Funktionen angezeigte Legendeninformation wird bei Weiterführung des Mauszeigers gewöhnlich entfernt. Es sollte jedoch auch möglich sein, die Information nach Aufruf bei Bedarf im Kartenbild zu erhalten.

6.3.3 Parallele Nutzung beider Legendenformen

Die temporäre Legendeninformation eignet sich nur bedingt, wenn viele verschiedene Kartenzeichen einzeln auftreten und erläutert werden müssen. Ein allgemeiner Überblick über den gesamten Informationsgehalt erlangt der Kartennutzer jedoch nicht, wenn diese Legendenform die einzige Zeichenerklärung einer Karte ist. Beide beschriebenen Legendenformen können parallel eingesetzt werden, wenn allgemeine Informationen über Legendenfenster erklärt werden und spezielle Information, wie Eigennamen, über die MO-Funktionalität. Tabelle 6.1 zeigt für dieses Vorgehen Beispiele für einige Kartengegenstände topografischer Karten.

BUZIEK (1997b und 1999) sieht als weitere Möglichkeit, einzelne Erscheinungen und Sachverhalte im Kartenbild zu erläutern, die Betonung flächenhafter Kartenzeichen. Eine solche Betonung kann durch das Hervorheben des Kartenzeichens selbst erfolgen, und zwar durch Beleuchten (*Highlighten*) bzw. Aufblinken des Kartenzeichens (Positionssignatur) oder durch farbige Markierung von Linie oder Fläche mit leuchtenden Farben. Nach BUZIEK stellt die Betonung durch einen sich bewegenden Lichtkegel und die durch ein sich bewegendes Vergrößerungsglas, das nicht der im Abschnitt 6.2.3 beschriebenen Lupe entspricht, eine Alternative zur Beleuchtung dar. Auch diese Technik erklärt immer nur ein Kartenzeichen. Für die Erläuterung der Karte in ihrer Gesamtheit oder der Inhalte einzelner thematischer Ebenen eignen sich nur Legendenfenster oder separate Legenden.

Tabelle 6.1: Parallele Nutzung von Legendenfenster und temporärer Legendeninformation

	<i>Fläche</i>	<i>Siedlung</i>	<i>Punkt</i>	<i>Gewässer</i>	<i>Vegetation</i>
Legendenfenster (Inhaltsklassen)	- Öffentliches Gebäude - Schule	- Größe 1 - Größe 2 - Größe 3		- See - Talsperre	- Wald - Wiese/Weide - Sumpf/Moor
Temporäre Legendeninformation (Eigennamen)	- Rathaus - Post - Helmholtz- schule	- Imberg - Sigishofen - Ortsteil von ...		- Alpsee - Eibsee	- Kottenforst - Oberholz - Oberes Moos

6.4 Gewinnung von Zusatzinformation

Zusatzinformationen können der Kartengrafik in vielfältiger Weise (Texte, Tabellen, Bilder usw., interaktive dynamische Karte) hinterlegt oder beigefügt werden. Diese Möglichkeiten zeigt Abbildung 6.1. Die dort dargestellten Formen der Informationsgewinnung erweitern die Karte um Inhalte, welche die konventionelle Karte nicht enthält. Diese Art der Informationsgewinnung wird im Rahmen dieser Arbeit nur am Rande behandelt. Der Informationsgehalt der kartografischen Darstellung in der Bildschirmvisualisierung kann erhöht werden, wenn die Karte mit georeferenzierten Daten und bzw. oder mit Höhendaten hinterlegt wird.

Die Hinterlegung georeferenzierter Bild- oder Geometriedaten ermöglicht die permanente Anzeige von Koordinaten der Position des Cursors. Diese Funktion geht über die Möglichkeiten konventioneller Karten hinaus und wird heute weitgehend von Grafikprogrammen unterstützt, die mit georeferenzierten Bilddaten arbeiten. Sie spielt aber für die Interpretation des Kartenbildes nur eine untergeordnete Rolle. Das Prinzip einer solchen Koordinatenanzeige verdeutlicht Abbildung 6.7.

Die Hinterlegung eines Digitalen Geländemodells (DGM) ermöglicht die Gewinnung von Höheninformation, die innerhalb der Kartengrafik nicht dargestellt werden kann (Abbildung 6.7). Die Anzeige auf einem DGM basierender Höhen außerhalb der Karte ersetzt teilweise die fehlende Darstellung des Reliefs. Die Anschaulichkeit des Geländes wird aber nicht erreicht und die ausmessbare Darstellung von Höhenlinien kann auf diesem Weg nicht ersetzt werden. Allerdings ist die Höhe jedes beliebigen Punktes der Karte abrufbar. Dies ist eine Eigenschaft, über die konventionelle Karten nicht verfügen. Die hinterlegte Höheninformation trägt dazu bei, dass die Angabe kotierter Punkte im Kartenbild auf dominante Höhen, z. B. die höchste Erhebung und der niedrigste Punkt, beschränkt werden kann.

Die Hinterlegung der Höheninformationen führt dazu, dass mit dem Ziel der kartografischen Visualisierung hybride Daten verwendet werden. Die Kombination georeferenzierter Bilddaten (Rasterkarten) bzw. Vektordaten mit Digitalen Geländemodellen erfordert Raster- und Gitterdaten bzw. Vektor- und Gitterdaten.

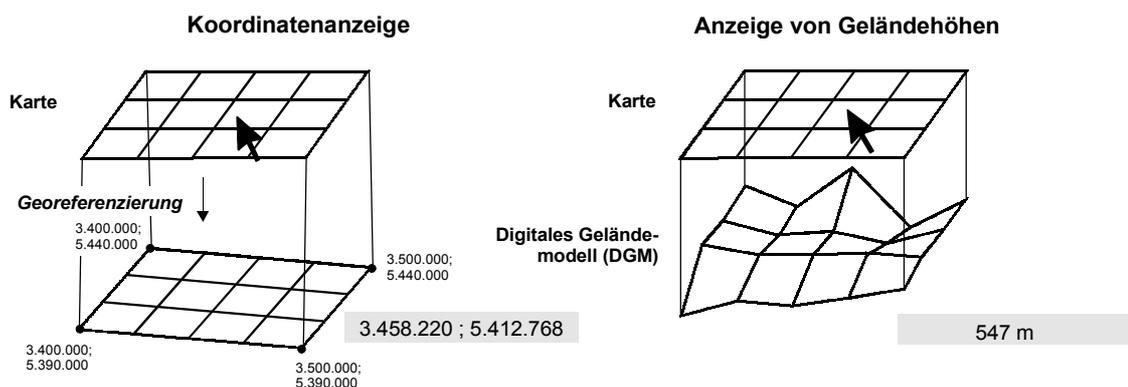


Abbildung 6.7: Zusatzinformationsgewinnung im Kartenbild

6.5 Nutzerspezifische Gestaltung

Mit der Freiheit des Nutzers, Inhalt und Gestaltung einer kartografischen Darstellung zu ändern (Interaktionsfreiheit), ist eine völlig neue Form der Arbeit mit kartografischen Darstellungen entstanden. Sie wirkt sich direkt auf das Erscheinungsbild der Kartengrafik aus. DRANSCH (1995 und 1997) und PETERSON (1995) sehen in ihr Formen der nichttemporalen Animation (vgl. Kapitel 6.1).

Nicht gesteuerte Interaktionen bergen die Gefahr, dass der Nutzer Karteninhalt und Gestaltung in einer Weise modifiziert, welche zu einer unzuweckmäßigen Darstellung führt. Dass die kartografische Interaktion gesteuert erfolgen sollte, bleibt bisher weitgehend unbeachtet. Der Begriff *gelenkte Interaktion* fasst Vorgänge zusammen, unter denen die genannte Gefahr nicht besteht, da nur Interaktionen zugelassen werden, deren Inhalts- und Gestaltungsänderungen kartografischen Grundsätzen gerecht werden. Im Folgenden wird gezeigt, welche kartografischen Interaktionen unbedingt gelenkt erfolgen sollten.

Die Einflussnahme des Kartennutzers auf den Inhalt der Darstellung geschieht vorrangig durch Ein- und Ausblendung bzw. Kombinieren von Informationen. Diese Ebenenkombination kann sowohl in einer Karte aus Vektordaten als auch in einer Grafik aus Rasterdaten ermöglicht werden. Im ersten Fall muss der Karteninhalt in nach fachlichen Gesichtspunkten bestimmten, thematischen¹⁴ Ebenen abgelegt sein. Eine kartografische Darstellung von Rasterdaten erfordert eine Vorhaltung einzelner Rasterbilder für die sinnvollen Inhaltskombinationen. In diesem Fall wird mit jeder Interaktion auf den Inhalt der gesamte Datensatz ausgetauscht.

Die Ebenenkombination wird in mittel- und kleinmaßstäbigen Karten angewandt. Sie ist hilfreich, wenn sich der Kartennutzer über die Verteilung einer einzelnen thematischen Ebene, wie die von Siedlungen, oder das Zusammenwirken verschiedener Inhalte (z. B. Relief und Gewässer) informieren will.

Die Ein- und Ausblendung von Informationen ist in fachlicher bzw. inhaltlicher und geometrischer Hinsicht kritisch einzuschätzen. KELNHOFER (2000) stellt fest, dass Informationsverfälschungen als Folge von Fehlern bei der Ebenenkombination vermieden werden können, wenn für jede sinnvolle Kombinationsmöglichkeit auch für eine Darstellung in Vektordaten verschiedene Daten vorgehalten werden. Diese Datenvorhaltung ist notwendig, um inhaltliche und topologische Ungenauigkeiten sowie kartografische Generalisierungsfehler zu vermeiden. Abbildung 6.8 zeigt für einige Kombinationen topografischer Kartengegenstände Beispiele.

¹⁴ „thematisch“ ist hier nicht im Sinne der thematischen Kartografie zu verstehen. Der Begriff steht für thematische Ebenen topografischer Karten, wie die Siedlungsdarstellung, jene der Verkehrswege, der Vegetation usw.

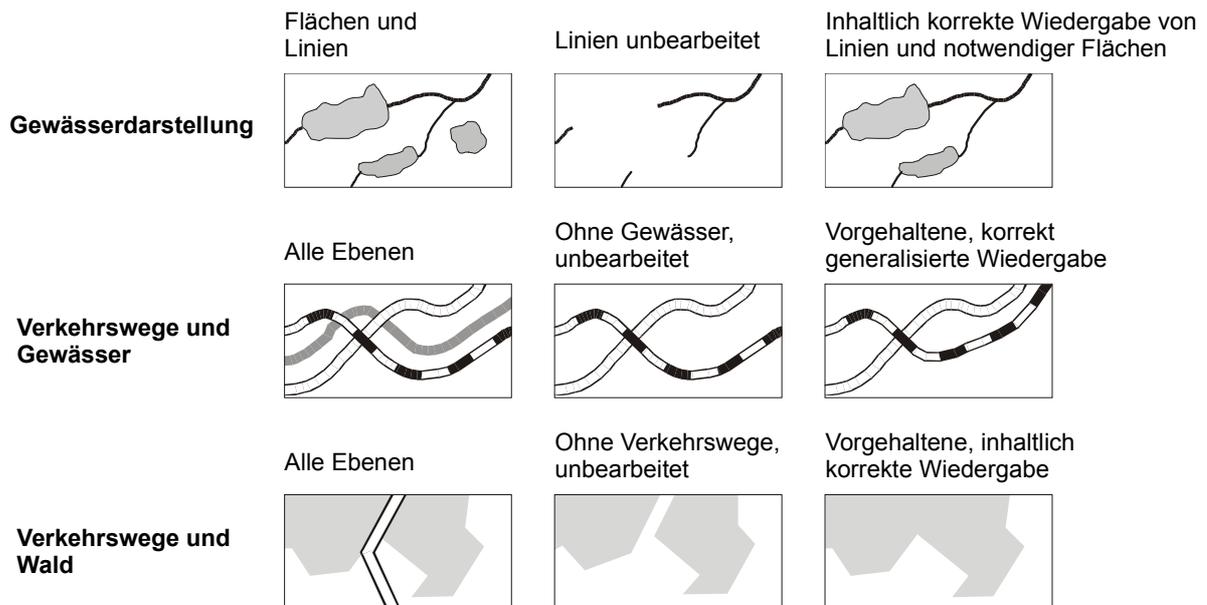


Abbildung 6.8: Ursachen für Fehler und ihre Vermeidung bei der Kombination von Ebenen (nach KELNHOFER 2000)

Zu Abbildung 6.8: Die Grafiken in der linken Spalte zeigen beispielhafte Ebenenkombinationen. Bei Entfernung einer Ebene ergeben sich die in der mittleren Spalte dargestellten Effekte. Die rechte Spalte (inhaltlich korrekte Wiedergabe) zeigt eine fachlich bzw. geometrisch korrekte Darstellung, welche die Vorhaltung verschiedener Daten erfordert. Zeile *Gewässerdarstellung* zeigt, dass die Entfernung einer Ebene zu Fehlinterpretationen führt. Flächengewässer, ohne welche die Netzstruktur der Linien-gewässer verloren geht, müssen von der Entfernung ausgeschlossen bleiben. In Zeile *Verkehrswege und Gewässer* wird das Gewässernetz ausgeblendet. Der Lagebezug der Verkehrswege wird verfälscht, der ungefähr parallele Verlauf von Straße und Eisenbahn geht verloren, wenn die Ebene unbearbeitet entfernt wird. Die Beziehung kann durch Vorhaltung geeigneter Daten ebenfalls erhalten bleiben. Zeile *Verkehrswege und Wald* zeigt einen weniger relevanten Fall. Dort wird die Ebene des Verkehrsnetzes ausgeblendet, was dazu führen kann, dass die Waldfläche in zwei unabhängige Flächen geteilt wird, wenn sie so erfasst wurde. Dieser Konflikt erfordert nicht unbedingt verschiedene vorgehaltene Daten. Er kann auch durch eine geeignete grafische Priorisierung der Ebenen gelöst werden, wenn die Waldfläche als ein Polygon digitalisiert wurde. Für diese Lösung liegt die Ebene Wald unter den Verkehrswegen.

KELNHOFER (2000) stellt weiter fest, dass auf Grund dieser Betrachtungen der nutzerspezifische Einfluss auf den Inhalt der Karte „nur für ein relativ kleines Spektrum kartografischen Schaffens“ einsetzbar ist. Topografische Informationen scheiden danach für individuelle Zusammenstellungen des Inhalts aus.

Die Gestaltungsfreiheit, die digitale Karten dem Nutzer bieten, ist ebenfalls kritisch einzuschätzen. NUTZ (1997) sieht in ihr Nachteile, die aus den Anforderungen, welche die kartografische Zeichenlehre an die Darstellung stellt, resultieren. Die falsch angewandte Zeichenlehre wirkt sich auf die Aussagekraft der Karte direkt aus.

6.6 Produktbeispiele

Karten für die Bildschirmvisualisierung erfordern eine andere Gestaltung als konventionelle Karten. Die im Kapitel 5.2 erarbeiteten Gestaltungsvorschläge und die Begründungen für ihre Wahl haben das gezeigt. Die Gestaltung einiger kommerzieller kartografischer Produkte berücksichtigt teilweise diese

Erfordernisse. Im Folgenden werden vier ausgewählte Produkte charakterisiert, die für die Nutzung am Bildschirm vorgesehen sind. Diese Beispiele sind

- der *Encarta-Weltatlas* als Beispiel für einen Weltatlas auf CD-ROM,
- der *National Atlas of Canada* als Beispiel für einen Nationalatlas im Internet,
- der *interaktive Atlas der Schweiz* als Beispiel für einen Landesatlas und
- die *Elektronische Seekarte ECDIS* als Beispiel für ein kartenbasiertes Informationssystem.

Die Charakterisierung beschränkt sich auf die topografischen Grundkarten, wodurch die Vergleichbarkeit gefördert wird. Maßstabsbereiche und Funktionsumfänge sind jedoch sehr verschieden.

6.6.1 Encarta-Weltatlas

Der Encarta-Weltatlas von *Microsoft* ist eines von vielen Beispielen publizierter Weltatlanten auf CD-ROM. Seine auf die Bildschirmvisualisierung abgestimmte Gestaltung hebt sich von ähnlichen Produkten, bei denen teilweise konventionelle Karten digital gespeichert werden, ab.

Gestaltung und Funktionalität:

Die Gestaltung entspricht einigen der in dieser Arbeit aufgestellten Gestaltungsvorschlägen. Das betrifft Flächen (Gewässer, Siedlung), die ohne Kontur wiedergegeben werden. Positionssignaturen sind zum Teil quadratisch, die Randstärken hohler Formen jedoch mit einem Bildpunkt zu schmal. Weniger geeignete Kreissignaturen werden ebenfalls verwendet. Die Schrift ist serifenlos, aber etwas zu klein. Die Reliefdarstellung erfolgt durch Höhenschichten guter farblicher Abstimmung mit dem sonstigen Karteninhalt. In Maßstäben kleiner als etwa 1:2 Mill. wird zusätzlich eine Schummerung eingeblendet. Die notwendige Verkehrswegedarstellung reduziert sich auf ein sinnvolles Minimum. Die grauen und roten Linien, die mit einem Bildpunkt Breite zu schmal sind, sind über den Höhenschichten jedoch gut lesbar.

- | | |
|---------------------------------------|---|
| • Maßstabsbereich: | etwa 1:350 000 – 1:120 Mill. |
| • Maßstabsangaben: | grafischer Maßstab |
| • Eigenschaften der Maßstabsänderung: | intelligentes Zoom, Vorhaltung verschieden abstrahierter Daten für die einzelnen Maßstäbe |
| • Orientierungshilfen: | Anzeige geografischer Koordinaten, Übersichtsdarstellung |
| • Legende: | separates Legendenfeld |
| • Sonstige Eigenschaften: | Suchfunktion (Register), Ebenenkombination, dynamische Schriftauswahl und -platzierung |

Einige Kartenausschnitte zum Produktbeispiel *Encarta-Weltatlas* auf dem beiliegenden Datenträger vermitteln einen Eindruck von der Kartengestaltung.

6.6.2 The National Atlas of Canada

Der kanadische Nationalatlas ist ein Beispiel für einen interaktiven Atlas, der im Internet zur Verfügung gestellt wird.

Gestaltung und Funktionalität:

Die Kartengestaltung folgt einigen in dieser Arbeit aufgestellten Vorschlägen. Höhenschichten guter farblicher Abstimmung werden ohne Kontur abgebildet, die hohen Tonwerte verdunkeln das Kartenbild jedoch etwas zu sehr. Positionssignaturen werden durch Quadrate, Kreise und bildhafte Zeichen

wiedergegeben. Die Lesbarkeit der Signaturen, die nicht quadratisch sind, ist eingeschränkt. Liniengewässer, Verkehrswege und Grenzen werden durch Linien dargestellt, welche mit der Strichstärke von einem Bildpunkt zu schmal, dennoch gut lesbar sind. Die Anzahl der dargestellten Verkehrswege beschränkt sich auf ein notwendiges Minimum. Serifenlose Schrift wird verwendet, die jedoch etwas zu klein ist.

- Maßstabsbereich: etwa 1:1,7 Mill.– 1:50 Mill.
- Maßstabsangaben: grafischer Maßstab, Kartenfenster etwa 125 mm x 140 mm (auflösungsabhängig)
- Eigenschaften der Maßstabsänderung: intelligentes Zoom, Änderung des Inhalts beim Vergrößern, jedoch keine Anpassung der geometrischen Genauigkeit an den Maßstab
- Orientierungshilfen: Übersichtsdarstellung mit Einblendung des aktuellen Kartenausschnitts
- Legende: separates Legendenfeld
- Sonstige Eigenschaften: Ebenenkombination

Einen Eindruck über die Grafik des Atlas vermitteln die Kartenausschnitte zu diesem Produkt auf dem beiliegenden Datenträger.

6.6.3 Interaktiver Atlas der Schweiz

Der Atlas der Schweiz – interaktiv ist ein vom Schweizerischen Bundesamt für Landestopographie auf CD-ROM herausgegebenes Atlaswerk.

Gestaltung und Funktionalität:

Die Gestaltung des topografischen Kartengrundes entspricht in weiten Teilen den Gestaltungsvorschlägen dieser Arbeit. Für die Darstellung von Gewässer- und Vegetationsflächen bedeutet dies die Wiedergabe ohne Kontur. Siedlungsflächen werden mit einer schmalen Umgrenzung versehen, die jedoch die Lesbarkeit nicht einschränkt. Für Ortssignaturen werden Kreise verwendet, die bei Verkleinerung schlecht lesbar sind. Verkehrswege, Grenzen und Gewässer werden durch Linien der Stärke von einem Bildpunkt dargestellt. Die Lesbarkeit wird vor dem meist verdunkelten Hintergrund nicht sehr eingeschränkt. Im größten Maßstab 1:200 000 erfolgt die Wiedergabe der Verkehrswege um einen Bildpunkt verbreitert. Daraus ergibt sich ein ansprechendes, gewohntes Kartenbild. Das Relief wird durch eine Schummerung wiedergegeben. Das Kartenbild enthält keine Schrift. Die Schriftinformationen werden bei Aktivierung eines Objekts in einem separaten Fenster eingeblendet.

- Maßstabsbereich: etwa 1:200 000 bis 1:1,3 Mill.
- Maßstabsangaben: numerischer Maßstab
- Orientierungshilfen: Übersichtsdarstellung mit Einblendung des aktuellen Kartenausschnitts
- Legende: separates Legendenfeld einblendbar, zusätzlich Informationsfenster, das die Schrift enthält und das aktivierte (hervorgehobene) Kartenzeichen erläutert
- Sonstige Eigenschaften: Ebenenkombination

Einen Eindruck über die Gestaltung des Atlas vermitteln die Kartenausschnitte zur topografischen Basiskarte dieses Produkts auf dem beiliegenden Datenträger.

6.6.4 Electronical Chart Display and Information System (ECDIS)

ECDIS ist ein kartenbasiertes Informationssystem für die Berufsschifffahrt. In ihm können z. B. Schifffahrtsrouten abgerufen, der Seeweg aufgezeichnet und Informationen zu den dargestellten Objekten und weitere Informationen eingeblendet werden. Inhalt und Technik von ECDIS erläutern HECHT u. a. (1999).

Gestaltung und Funktionalität:

Im Gegensatz zu den anderen hier vorgestellten Produkten erfordert die Kartengrafik von ECDIS aufgabenbedingt eine detaillierte Gewässerdarstellung. Land-, Gewässer- und Wattflächen werden durch Flächenfarben wiedergegeben, die Küstenlinie durch eine breite graue Linie. Im Landbereich werden nur Siedlungen, wesentliche Verkehrswege und thematische Eintragungen dargestellt. Die topografische Grundkarte ist gut lesbar. Die Gestaltung der Kartenzeichen des thematischen Inhalts (Einzelzeichen) bezüglich Größe, Gestalt und Linienstärken entspricht jedoch der konventioneller Karten. Solche Positionssignaturen sind schlecht erkennbar.

- Maßstabsbereich: etwa 1:2 500 bis 1:15 Mill.
- Maßstabsangaben: grafischer Maßstab, Einblendung des Maßstabs im Legendenfenster
- Eigenschaften der Maßstabs-
• änderung: intelligentes Zoom
- Orientierungshilfen: Einblendung von Koordinaten
- Legende: Legendenfenster, separat einblendbar
- Sonstige Eigenschaften: Ebenenkombination, Vorhaltung verschiedener Farbgebungen, damit Simulation von Tag- und Nachtbeleuchtung möglich

Einen Eindruck über die Kartengrafik der topografischen Grundkarte von ECDIS vermitteln die Kartenausschnitte zu diesem Produkt auf dem beiliegenden Datenträger.

6.7 Kommunikationssituation bei Karten in der Bildschirmvisualisierung

Der Einfluss interaktiver Funktionalität auf die Kommunikationssituation bei Karten für Bildschirme wurde bereits von zahlreichen Autoren betrachtet. Allgemein wird dabei festgestellt, dass die interaktiven Komponenten die Restriktionen der Kommunikationssituation bei konventionellen Karten teilweise aufheben. NUTZ (1997) stellt fest, dass die Interaktivität das kartografische Kommunikationsnetz zur *dialogisierenden Kommunikation* hin verändert. Der Dialog ergibt sich zwischen der digitalen Karte mit ihrem multimedialen und interaktiven Potenzial und dem auswertenden Kartennutzer. MÜLLER (1997) spricht von *Zweibahnkommunikation* und stellt sie der *Einbahnkommunikation* bei der Arbeit mit konventionellen Karten gegenüber. KELNHOFER (2000) betrachtet die digitalisierte Karte als Basis eingeschränkter Interaktivität, die digital erstellte Karte als Basis für volle Interaktivität und spricht von „vernetztem Informationsfluss im interaktiven kartografischen Informationssystem“. Die dialogisierende Komponente durch kartografische Interaktionen spiegelt sich auch in der veränderten Darstellung des kartografischen Kommunikationsnetzes wider (Abbildung 6.9).

PETERSON (1995) stellt fest, dass Beschränkungen der Bildschirmvisualisierung bestehen bleiben und verweist auf technische Beschränkungen, wie die begrenzte Größe und Auflösung des Bildträgers, die nicht überwunden werden können. Des Weiteren bleiben kommunikative Einschränkungen teilweise bestehen. Vor allem der selektive Charakter der Karte (vgl. Abschnitt 2.5.3) wird verstärkt, wenn die

Einflussnahme des Nutzers auf Inhalt und Gestaltung nicht gelenkt erfolgt. Ebenso bleibt der isolierende Charakter der Darstellung erhalten.

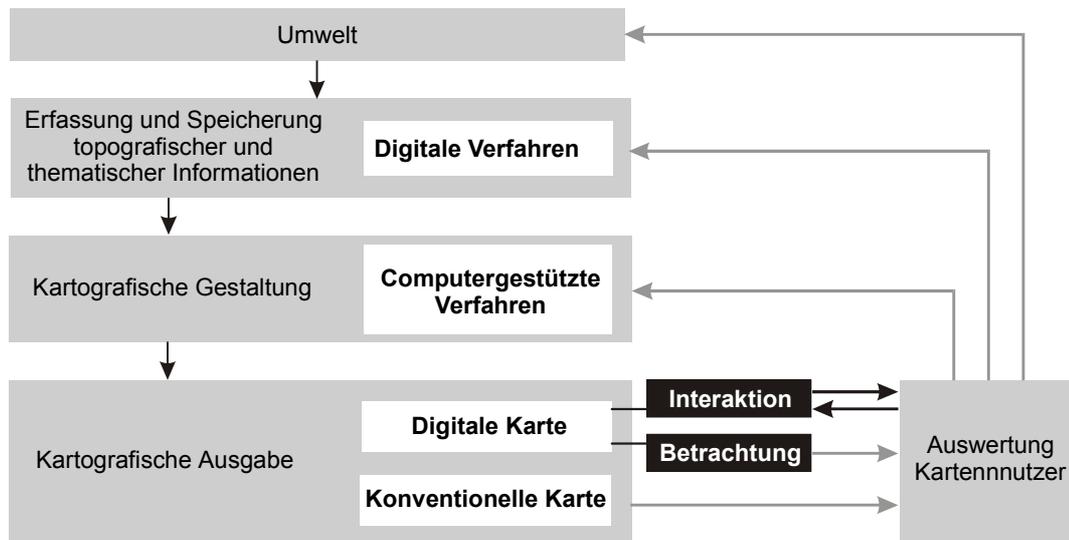


Abbildung 6.9: Kommunikation bei Karten in der Bildschirmvisualisierung
(nach HAKE/GRÜNREICH 1994 und NUTZ 1997, verändert)

7 Zusammenfassung und Ausblick

Kartentechnik und kartografische Visualisierung befinden sich in einem Umbruch. Digitale Verfahren der Kartenherstellung zum einen und die Möglichkeiten der weitreichenden Verfügung über Karten in digitaler Form zum anderen begründen die Veränderungen. Als Nebeneffekt für die Kartografie ergibt sich, dass Kartengestaltung und -herstellung individuell durch eine einzelne Person erfolgen können. Motor für die Entwicklungen sind Fortschritte im Bereich der elektronischen, speziell der grafischen Datenverarbeitung. Die zu erwartende zukünftige Praxisreife einiger neuer Bilddarstellungstechniken und neue Wege der Datenübertragung werden auf dem Gebiet des Einsatzes von Karten in mobilen Geräten die Entwicklung weiter beschleunigen.

Die Ausführungen der vorliegenden Arbeit konzentrieren sich auf die Gestaltung von Karten für die Bildschirmvisualisierung. Intensiv wurde behandelt, dass der Bildpunkt des Monitors das sichtbare grafische Grundelement jeder Darstellung ist. Die Eigenschaften des Bildpunktes sind zu berücksichtigen, damit die Kartengestaltung mit dem Ziel der visuellen Unterscheidung zwischen Kartenzeichen durch Nutzung grafischer Variationen erfolgen kann. Die Arbeit mit dem Bildpunkt, die Festlegung notwendiger Mindestgrößen im Bildpunktmaß, die Berücksichtigung der auf dem sichtbaren Bildpunkt beruhenden Restriktionen, sind wesentliche Unterschiede zur Gestaltung konventioneller Karten. Das grafische Grundelement bedingt aber auch, dass der Maßstab, in dem die Karte am Monitor angezeigt wird, von Größe und Auflösung des Bildschirms abhängig ist. Darin liegt eine Beschränkung, die vor allem bei der Visualisierung von Rasterdaten beachtet werden muss.

Die Gestaltung der Karte für die Bildschirmvisualisierung mit geeigneten Mitteln ist der wichtigste Schritt zur Förderung der Lesbarkeit der Darstellung. Belegt werden konnte, dass einige konventionelle Gestaltungsmittel nicht auf die Darstellung am Bildschirm übertragen werden können. Für sie müssen Alternativen gefunden werden, die vom Kartenleser erkannt werden und von ihm nachvollziehbar sind. Andere Gestaltungsmittel, die in gedruckten Karten kaum verwendet werden oder simuliert werden müssen, eignen sich für die Bildschirmvisualisierung dagegen besonders. Die für das Auge kaum wahrnehmbare Bildstörung bei der Verwendung von Halbtönen fördert die Nutzung von Gestaltungsmöglichkeiten und gesamter Darstellungen, die überwiegend oder ganz aus Halbtönen bestehen. Die Visualisierung von Unschärfe und die Verwendung von Luftbildern, die eine Alternative zur Nutzung topografischer Karten sein kann, sind dafür Beispiele.

Des Weiteren wurde gezeigt, dass die spezielle Bildverbesserung den Grad der Lesbarkeit der Karte erheblich erhöhen kann. Mit diesem Gestaltungsmittel wird die Lage einzelner Kartenzeichen in der Bildpunktmatrix festgelegt. Sie hat den Erhalt dieser Lage bei Verschiebung der Darstellung zum Ziel. Ihre Mittel sind auch auf andere Grafik übertragbar und fördern so die grafische Qualität des auf elektronischen Bildträgern angezeigten Bildes. Die spezielle Bildverbesserung ist ein zweiter Schritt zur Entwicklung einer geeigneten Kartengestaltung.

Ein dritter Schritt ist die Bearbeitung der Karte mit Antialiasing. Dies ist eine allgemeine Bildverbesserung, mit der das Erscheinungsbild der gesamten Darstellung verändert wird.

Die Gestaltungsvarianten für die Darstellung topografischer Karten zur Bildschirmvisualisierung sind eingeschränkt. Der Bildträger lässt vor allem grafische Variationen von Form, Richtung und Muster kaum zu. Ein vertrautes Kartenbild kann dennoch weitgehend erhalten bleiben, wenn der Qualitätsumschlag, vor allem der von linearer Signatur zu Linie, der bereits in mittleren und großen Maßstäben erfolgt, und die Arbeit mit Linien und Flächen an Stelle der mit Linien- und Flächensignaturen als Erfordernisse akzeptiert werden.

Ein anstehender, weiterer Forschungsbedarf ist die Suche nach Möglichkeiten, mit denen die Gestaltung von Kartengegenständen, deren Visualisierung am Bildschirm mit Defiziten verbunden ist, verbessert werden kann. Es wurde verdeutlicht, dass bei topografischen Karten vor allem die Reliefdarstellung durch Höhenlinien unter den Eigenschaften der Bildpunktmatrix leidet. Geometrische Genauigkeit und Anschaulichkeit (Höhenlinien, Felszeichnung) gehen weitgehend verloren. Für die Wiedergabe des Reliefs im Speziellen ist festzustellen, inwiefern dreidimensionale Visualisierungen die im Kartenbild teilweise fehlende Anschaulichkeit wieder herstellen können und wie diese mit der Situationsdarstellung in geeigneter Weise zu verbinden sind.

Die erarbeiteten Gestaltungsvorschläge beschränken sich auf den Inhalt topografischer Karten. Die thematische Kartografie verfügt neben Gestaltungsmitteln, die in den vorstehenden Kapiteln beschrieben wurden, über weitere Ausdrucksmittel und zahlreiche darzustellende Thematiken. Für sie sind ebenso geeignete Darstellungsmittel zu entwickeln. Möglichkeiten der Visualisierung von Karten komplexen Inhalts, man denke zum Beispiel an geologische oder geomorphologische Karten, sind zu erproben. Ob die beschriebene interaktive Funktionalität (Ebenenkombination) die Wahrnehmung komplexer Zusammenhänge unterstützt, ist zu untersuchen.

Nach MORRISON (1994), HARBECK (1996) und PETERSON (1999) befindet sich die Kartografie in einem *Paradigmawechsel*. Nach Ansicht dieser Autoren resultiert dieser Wechsel daraus, dass inzwischen nicht mehr die topografische Karte, sondern digitale Datenbanken die primäre Informationsquelle in der Kartografie sind. Digitale Datenbasen liegen bereits für alle Maßstabbereiche abstrahiert vor. Die Ableitung kartografischer Darstellungen aus ihnen wird deshalb in Zukunft noch größere Bedeutung erlangen als dies heute bereits der Fall ist. Für solche Karten sind ebenfalls geeignete Gestaltungsvorschläge zu erarbeiten. Die in der vorliegenden Arbeit aufgestellten Vorschläge können zwar genutzt werden, die dann zu verwendenden Linienstärken, Schrift- und Signaturgrößen sind jedoch in diesem Fall, im Unterschied zu den Betrachtungen der vorliegenden Arbeit, an die vorhandene Geometrie der Daten gebunden. Die Bildschirmvisualisierung lässt Darstellungsprobleme erwarten, die durch Maßnahmen der kartografischen Generalisierung zu lösen sind. Die Entwicklung von Gestaltungsvorschlägen für die Verwendung digitaler Datenbasen in der kartografischen Bildschirmvisualisierung ist eine weitere Forschungsaufgabe.

Letztendlich ist es notwendig, die Eigenschaften des Bildträgers, die sich daraus ergebenden Erfordernisse für die Bildschirmvisualisierung von Karten und kartenverwandter Darstellungen und die wachsenden Erkenntnisse über die Eignung bestimmter Gestaltungsmittel in eine Theorie umzusetzen, die sich später in Lehrbüchern wieder findet. HÄBERLING (2000) fordert dies bereits für topografische 3D-Karten.

Literaturverzeichnis

- ADV- ARBEITSGEMEINSCHAFT DER VERMESSUNGSVERWALTUNGEN DER LÄNDER DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (Hrsg. 2000): *ATKIS-Signaturenkataloge 1:10 000 und 1:25 000*, München.
- ALBERTZ, J. (1991): *Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft Darmstadt.
- ARNBERGER, E. und I. KRETSCHMER (1975): *Wesen und Aufgaben der Kartographie – Topographische Karten*. Band I der Enzyklopädie der Kartographie und ihrer Randgebiete, Franz Deuticke, Wien.
- ARTIMO, K. (1994): *The Bridge Between Cartography and Geographic Information Systems*. In: MACEACHREN, A. M. und D. R. FRASER TAYLOR (Eds.): *Visualization in modern cartography*. S. 45-61, Pergamon Press, New York.
- ASCHE, H. (1996): *Modellierung und Nutzung elektronischer Karten*. In: MAYER, F. und K. KRIZ (Hrsg.): *Kartographie im multimedialen Umfeld*. Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Bd. 8, S. 150-167, Institut für Geographie der Universität Wien, Ordinariat für Geographie und Kartographie, Wien.
- ASCHE, H. (2001): *Kartographische Informationsverarbeitung in Datennetzen – Prinzipien, Produkte, Perspektiven*. In: HERRMANN, C. und H. ASCHE (Hrsg.): *Web.Mapping 1*. S. 3-17, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- BACH, M. und G. KOMMERELL (1998): *Sehschärfebestimmung nach Europäischer Norm: wissenschaftliche Grundlagen und Möglichkeiten der automatischen Messung*. In: Klein Mbl Augenheilk, 212, S. 190-195, Freiburg.
URL: <http://www.ukl.uni-freiburg.de/aug/bach/visus98/index.html> (September 2001).
- BAEUERLE, R., J. BAUMBACH, E. LUEDER und J. SIEGORDNER (1999): *A MIM driven Display with Colour Filters on 2“ diagonal Plastic Substrates*. In: SID 1999 Proceedings, 4-3, Publikation auf CD-ROM.
URL: http://www.sid.org/sid99/data/04_03.pdf (September 2001).
- BÄHR, H.-P. und T. VÖGTLE (1991): *Digitale Bildverarbeitung*. 2. Auflage, Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- BÄR, W.-F. (1976): *Zur Methodik der Darstellung dynamischer Phänomene in thematischen Karten*. Frankfurter Geographische Hefte, 51, Verlag Waldemar Kramer, Frankfurt am Main.
- BERLYANT, A. M. und L. A. USHAKOVA (1993): *Dynamic maps as a new type of cartographic production*. In: Proceedings, 16th International Cartographic Conference, Cologne, S. 489-494.
- BERTIN, J. (1967): *Graphische Semiologie. Diagramme, Netze, Karten*. Übersetzt und bearbeitet nach der 2. Französischen Auflage, Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- BILL, R. und D. FRITSCH (1994): *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*. Band 1, 2. Auflage, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- BLAHA, F. (HRSG. 1995): *Der Mensch am Bildschirm-Arbeitsplatz*. Springer Verlag, Wien, New York.
- BLANKENBACH, K. (1999): *Multimedia-Displays – von der Physik zur Technik*. In: Physikalische Blätter 5/55, S. 33-38.

- BOS, E. S. (1984): *Systematic symbol design in cartographic education*. In: ITC Journal 1/1984, S. 20-28.
- BRANDAUER, H. (1995): *Das Bildschirmgerät – visuelle, taktile und akustische Ein-/Ausgabeschnittstelle mit spezifischen Anforderungen für eine ergonomische Gestaltung*. In: DIN-Mitteilungen 74, S. 800-804, Beuth Verlag, Berlin.
- BRANDSTÄTTER, L. (1983): *Gebirgskartographie*. Band I der Enzyklopädie der Kartographie und ihrer Randgebiete, Franz Deuticke, Wien.
- BRETTING, J. (Hrsg. 1991): *Technische Röhren – Grundlagen, Funktionen, Anwendungen*. Hüthig Buch Verlag, Heidelberg.
- BROWN, A. (1993): *Map design for screen display*. In: The Cartographic Journal, Vol. 30, Dec. 93, S. 129-135, Blackpool.
- BROWN, A. und C. P. J. M. VAN ELZAKKER (1993): *The use of colour in the cartographic representation of information quality generated by a GIS*. In: Proceedings 2, 16th International Cartographic Conference, Cologne, S. 707-720.
- BRUNNER, K. (1997): *Digitale Techniken in der topographischen Kartographie*. In: Mitteilungsblatt DVW Bayern, Heft 1/1997, S. 55-71.
- BRUNNER, K. (2000a): *Neue Gestaltungs- und Modellierungsaufgaben für den Kartographen – Ein Plädoyer für eine attraktive Kartographie zur Bildschirmvisualisierung*. In: KELNHOFER, F. und M. LECHTHALER (Hrsg. 2000), S. 53 – 62.
- BRUNNER, K. (2000b): *Limitierungen bei der elektronischen Bildschirmanzeige von Karten*. In: SCHMIDT, B. und C. UHLENKÜKEN (Hrsg. 2000), S. 35-48.
- BRUNNER, K. (2001): *Kartengestaltung für elektronische Bildanzeigen*. In: Kartographische Bausteine, Bd. 19, TU Dresden, im Druck.
- BUCHER, R. (1998): *Entwicklung einer Digitalen Topographischen Grundkarte für Baden-Württemberg*. In: Kartographische Nachrichten, 48, Heft 2, S. 45-51, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- BUZIEK, G. (1997a): *Das Potential moderner Informations- und Kommunikationstechnologien aus Sicht der Kartographie*. In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR KARTOGRAPHIE (Hrsg. 1997): Kartographische Schriften, Bd. 2, S. 17-25, Bonn.
- BUZIEK, G. (1997b): *Überlegungen und Beispiele zur Gestaltung von Legenden für kartographische Animationen*.
URL: http://gio.uni-muenster.de/beitraege/ausg3_97/buziek/geovisc3.html
(geoinformatik_online 3/97, September 2001)
- BUZIEK, G. (1999): *Dynamic Elements of Multimedia Cartography*. In: CARTWRIGHT u. a. (Hrsg. 1999), S. 231-244.
- BUZIEK, G., D. DRANSCH und W.-D. RASE (2000): *Dynamische Visualisierung*. Springer Verlag, Berlin, New York.
- CARTWRIGHT, W., M. P. PETERSON und G. GARTNER (Hrsg. 1999): *Multimedia Cartography*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- CDT – CAMBRIDGE DISPLAY TECHNOLOGY (Hrsg. 2000): *Light Emitting Polymers – Technology Backgrounder*.
URL: <http://www.cdtdt.co.uk/techindexBanner.htm> (Januar 2001).

- CHU, G. (1997): *Color selection and specification in map quality control: Crossing different digital color systems*. In: Proceedings 1, 18th International Cartographic Conference, Stockholm, S. 1502-1509.
- CULKIN, B. (1998): *New Display Technology: The Photocathode Display (PCD)*. In: SID 1998 Proceedings, 34-3, Publikation auf CD-ROM.
URL: http://www.sid.org/sid98/data/34_03.pdf (September 2001).
- DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (DIN, Hrsg. 1980 – 1984): *Deutsche Norm 66234, Bildschirmarbeitsplätze*. Teile 1, 2 und 6, Beuth Verlag, Berlin.
- DITZ, R. (1997): *An interactive cartographic information system of Austria - Conceptual design and requirements for visualization on screen*. In: Proceedings 1, 18th International Cartographic Conference, Stockholm, S. 571-578.
- DRANSCH, D. (1995): *Temporale und nontemporale Computer-Animation in der Kartographie*. Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen, Reihe C - Kartographie, Bd. 15, Berlin.
- DRANSCH, D. (1997): *Computer-Animation in der Kartographie*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- DTA – DISPLAY TECHNOLOGY ALLIANCE (Hrsg. 1997): *1997 Conference Report*.
URL: http://www.dta.ihost.com/newsletter/jan_confer.html (September 2001)
- FELLNER, W.-D. (1992): *Computergrafik*. Reihe Informatik, Bd. 58, 2. Auflage, BI-Wissenschaftlicher Verlag, Mannheim.
- FOLEY, J. D., A. VAN DAM, S. K. FEINER, J. F. HUGHES und R. L. PHILLIPS (1994): *Grundlagen der Computergraphik*. Addison-Wesley, Bonn [u. a.].
- GARDNER, A. (1992): *PC-Hardware*. Deutscher Taschenbuch Verlag, München.
- GARTNER, G. (2000a): *TeleKartographie oder neue Chancen und Herausforderungen für die Kartographie*. In: LECHTHALER, M. und G. GARTNER (Hrsg. 2000), S. 43-51.
- GARTNER, G. (2000b): *Karten im Internet*. In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR KARTOGRAPHIE (Hrsg. 2000): *Kartographische Schriften*, Bd. 4, S. 43-51, Bonn.
- GIERLOFF-EMDEN, H. G. (1989): *Fernerkundungskartographie mit Satellitenaufnahmen*. Band IV/1 der Enzyklopädie der Kartographie und ihrer Randgebiete, Franz Deuticke, Wien.
- GÖTZ, V. (1998): *Schrift und Farbe am Bildschirm*. Verlag Hermann Schmidt, Mainz.
- GRAMBOW, L. (2000): *Verfahren und Technik zum Bestimmen optischer und lichttechnischer Parameter von Videoprojektoren*. In: Network GmbH (Hrsg.): *Konferenzband zur 15. Electronic Displays 2000*, Berlin, S. 108-111.
- GRIMM, W. (1993): *Eine neue Kartengraphik für das digitale kartographische Modell „ATKIS-DKM 25“*. In: *Kartographische Nachrichten*, 43, Heft 2, S. 61-68, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- GRÜNREICH, D. (1997): *Überblick über die aktuellen Entwicklungen der Digitalkartographie*. In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR KARTOGRAPHIE (Hrsg.): *Kartographische Schriften*, Bd. 2, S. 10-16, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- HÄBERLING, C. (2000): *„Topographische 3D-Karten“: Konzeption und Gestaltungsvariablen*. In: SCHMIDT, B. und C. UHLENKÜKEN (Hrsg. 2000), S. 59-76.
- HAKE, G. (1988): *Gedanken zu Form und Inhalt heutiger Karten*. In: *Kartographische Nachrichten*, 38, S. 65-72, Kirschbaum Verlag, Bonn.

- HAKE, G. und D. GRÜNREICH (1994): *Kartographie*. 7. Auflage, Walter der Gruyter, Berlin, New York.
- HANDSCHY, M. A., D. BANAS, H. CHASE, J. CUNNINGHAM, R. MALZBENDER und M. R. MEADOWS (1996): *Miniature FLC/CMOS Color Sequential Display System*. In: SID 1996 Proceedings, 21-3, Publikation auf CD-ROM.
- HARBECK, R. (1996): *Anspruch und Stellung der Kartographie in der GIS-Welt*. In: *Kartographie im Umbruch – neue Herausforderungen, neue Technologien*. Beiträge zum Kartographiekongress, Interlaken, S. 27-34.
- HECHT, H., B. BERKING, G. BÜTTGENBACH und M. JONAS (1999): *Die Elektronische Seekarte – Grundlagen, Möglichkeiten und Grenzen eines neuen Navigationssystems*. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- HERDEG, E. (1993): *Die amtliche Kartographie zwischen analoger und digitaler Karte*. In: *Kartographische Nachrichten*, 43, Heft 1, S. 1-7, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- HETTNER, A. (1910): *Die Eigenschaften und Methoden der kartographischen Darstellung*. In: *Geographische Zeitschrift*, Jg. 16, S. 12-28 und S. 73-82, Leipzig.
- HORNBECK, L. J. (1998): *From cathode rays to digital micromirrors: A history of electronic projection display technology*. In: *Texas Instruments Technical Journal*, Vol. 15, No. 3, S. 7-46.
URL: <http://www.dlp.com/dlp/resources/whitepapers/pdf/titj03.pdf> (White Paper, September 2001)
- ICA (Hrsg. 1996): *ICA News (Nachrichten der Internationalen Kartographischen Vereinigung)*. Nr. 26, Sommer 1996.
- INTERNATIONALE KARTOGRAPHISCHE VEREINIGUNG (Hrsg. 1973): *Mehrsprachiges Wörterbuch kartographischer Fachbegriffe*. Wiesbaden, 1973.
- ITOU, F., A. KITAYA und N. OKAMOTO (2000): *Plasma Addressed Liquid Crystal Display*.
URL: http://www.sharp.co.jp/sc/library-e/techn_top/journal2000/8.html (September 2001).
- JACKÈL, D. (1992): *Grafik-Computer*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- KANEKO, Y., M. YAMAGUCHI, H. SUGEDA, T. NAKAGAWA, M. TOYODA, H. MATSUYA, T. SHIMURA u. T. TSUKADA (1996): *Portable, Foldable Display Systems*. In: *SID – 1996 Symposium Digest*, Vol. 27, S. 323-327.
- KELNHOFER, F. (2000): *Interaktive Kartographie und Multimedia-Applikationen im Spannungsfeld von Kartographen und Kartennutzern*. In: KELNHOFER, F. und M. LECHTHALER (Hrsg. 2000), S. 1-13.
- KELNHOFER, F. und M. LECHTHALER (Hrsg. 2000): *Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessung und Geoinformation der Technischen Universität Wien (Geowissenschaftliche Mitteilungen)*, Heft 53, Wien.
- KIPPAN, H. (2000): *Handbuch der Printmedien*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- KOCH, G. (1996): *Kartenproben 1:25 000 „Voralpen mit Hochgebirge“*. In: *Kartographische Nachrichten*, 46, Heft 3, S. 93-98, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- KOCH, W. G. (2000): *Kartengestaltende Variablen – Entwicklungslinien und ihre Ergänzung im multi-medialen Umfeld*. In: LECHTHALER, M. und G. GARTNER (Hrsg. 2000), S. 72-82.
- KRAAK, M.-J. und A. BROWN (2001): *Web Cartography*. Taylor & Francis, London.

- KRAAK, M.-J. und F. ORMELING (1996): *Cartography: Visualization of Spatial Data*. Longman, London.
- KRAAK, M. J. und T. TIJSSSEN (1993): *Computer-assisted learning and the visualization of spatio-temporal data*. In: Proceedings of the 16th International Cartographic Conference, Cologne, S. 983-992.
- KRAUS, K. (1990): *Fernerkundung*. Bd. 2, Dümmler Verlag, Bonn.
- LECHTHALER, M. und G. GARTNER (Hrsg. 2000): Schriftenreihe der Studienrichtung Vermessung und Geoinformation der Technischen Universität Wien (Geowissenschaftliche Mitteilungen), Heft 52, Wien.
- LIPPERT, K. (2000): *Die Plasma Displays – Anforderungen, Einsatz sowie Vor- und Nachteile*. In: Network GmbH (Hrsg.): Konferenzband zur 15. Electronic Displays 2000, Berlin, S. 71-76.
- LUTTERBACH, D. (1997): *Auswirkungen der Bildschirm-Visualisierung auf die kartographische Darstellung der raumbezogenen Planung*. Schriftenreihe des Instituts für Kartographie und Topographie der Universität Bonn, Heft 24.
- MAC EACHREN, A. (1992): *Visualizing Uncertain Information*. In: NORTH AMERICAN CARTOGRAPHIC INFORMATION SOCIETY (Hrsg.): Cartographic Perspectives, Heft 13, S. 10-19.
URL: http://www.geog.psu.edu/MacEachren/MacEachrenHTML/cp/amm_cp.html (Januar 2001)
- MAC EACHREN, A. (1995): *How Maps Work*. Longman, London.
- MAHR, H. (1995): *ATKIS-DKM-Entwicklungsstufe des HLVA auf der Basis von Intergraph Hard- und Software*. In: Kartographische Nachrichten, 45, S. 17-25, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- MAISER, E. und W. EHRFELD (2001): *Display-News von SID und DFF*. In Konferenzband zur 16. Electronic Displays 2001, Wiesbaden, S. 10-16.
- MAKITA, A., T. KOMATSU, K. FUJIJAMA, Y. ISHII und D. HASHIMOTO (1999): *Ultra Fine Aperature Grille for CDTs*. In: SID 1999 Proceedings, 19-3, Publikation auf CD-ROM.
URL: http://www.sid.org/sid99/data/19_03.pdf (September 2001)
- MALIC, B. (1998): *Physiologische und technische Aspekte kartographischer Bildschirmvisualisierung*. Schriftenreihe des Instituts für Kartographie und Topographie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Heft 25, Bonn.
- MAY, P. (1996): *Light Emitting Polymers – Technology for Conformable Graphic Displays*. In: SID 1996 Proceedings, 14-4, Publikation auf CD-ROM.
URL: <http://www.sid.org/SID96/sid96.pdf> (September 2001).
- MORGENSTERN, D. (1974): *Zur optimalen Auswahl einer physiologisch gleichabständigen Tonwertskala für die Kartographie*. In: Kartographische Nachrichten, 24, S. 45-53, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- MORGENSTERN, D. (1985): *Rasterungstechnik – fotomechanisch und elektronisch*. Frankfurt am Main.
- MORRISON, J. L. (1994): *The Paradigm Shift in Cartography: the Use of Electronic Technology, Digital Spatial Data, and Future Needs*. In: WAUGH, T. C. und R. G. HEALEY (Hrsg.): *Advances in GIS Research*. Proceedings of the Sixth International Symposium on Spatial Data Handling, Band 1, S. 1-15, Taylor & Francis, London.
- MROTZEK, R. (Hrsg. 2000): *Projektionstechnik – Grundlagen*. MediaScript-Verlag, Herzogenrath.

- MÜLLER, J.-C. (1997): *GIS, Multimedia und die Zukunft der Kartographie*. In: Kartographische Nachrichten, 47, Heft 2, S. 41-51, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- MÜLLER, M. und J. DIETRICH (1998): *Gestaltung kartographischer Erzeugnisse für digitale Medien*. In: JÄSCHKE, U., A. KOWANDA und M. MÜLLER (Hrsg.): *5 Jahre Kartographie an der HTW Dresden (FH)*. Dresdner Kartographische Schriften, Bd. 1, S. 7-18, Dresden.
- NEBEL, A., B. RUFFING und R. WALLENSTEIN (1998): *Laser-Display-Technik für die Großbildprojektion*. In: *Dossier: Laser in neuen Anwendungen*. Spektrum der Wissenschaft, 2/1998, S. 112-116.
- NEUDECK, S. (2000): *Zweckmäßige Kartengrafik für Bildanzeigen*. In: SCHMIDT, B. und C. UHLENKÜKEN (Hrsg. 2000), S. 49-58.
- NEUDECK, S. (2001): *Präsentation kartografischer Darstellungen durch Datenprojektion*. In: Network GmbH (Hrsg.): *Konferenzband zur 16. Electronic Displays 2001*, Wiesbaden, S. 166-172.
- NEUDECK, S. und K. BRUNNER (2001): *Anforderungen an die kartografische Visualisierung von Geodaten*. In: *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIII*. Beiträge zum AGIT-Symposium 2001, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- NUTZ, M. (1997): *Die Karte im Zeitalter von Multimedia und virtuellen Welten*. Geospektrum, Heft 1, 1997, S. 16-20.
- OGRISSEK, R. (Hrsg. 1983): *ABC Kartenkunde*. F. A. Brockhaus Verlag, Leipzig.
- OKANO, N., M. MAEDA, K. SAITA und Y. HORIUCHI (1999): *Development of Ultra-high Resolution 17"/21" CRT*. In: SID 1999 Proceedings, 19-2, Publikation auf CD-ROM.
URL: http://www.sid.org/sid99/data/19_02.pdf (September 2001).
- PENNEBAKER, W. B. und J. L. MITCHELL (1993): *JPEG Still Image Data Compression Standard*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- PETERSON, M. P. (1995): *Interactive and Animated Cartography*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- PETERSON, M. P. (1996): *Between Reality and Abstraction: Non-Temporal Applications of Cartographic Animation*.
URL: <http://maps.unomaha.edu/AnimArt/article.html> (September 2001).
- PETERSON, M. P. (1999): *Elements of Multimedia Cartography*. In: W. CARTWRIGHT u. a. (Hrsg. 1999), S. 31-40.
- PURGATHOFER, W. (1986): *Graphische Datenverarbeitung*. Springer-Verlag, Wien, New York.
- RAJESWARAN, G., M. ITOH, M. BOROSON, S. BARRY, T. K. HATWAR, K. B. KAHEN, K. YONEDA, R. YOKOHAMA, T. YAMADA, N. KOMIYA, H. KANNO und H. TAKAHASHI (2000): *Active Matrix Low Temperature Poly-Si TFT / OLED Full Color Displays: Development Status*. In: SID 2000 Proceedings, 40-1, Publikation auf CD-ROM.
- RASE, W. (2000): *Animationen zur Visualisierung raumbezogener Algorithmen*. In: Buziek u. a. (2000), S. 211-216.
- RÖHRICH, S., B. GREINER, M. SKRZECZEK und E. BOHLIG (1998): *Untersuchungen zur Ableitung einer Digitalen Topographischen Karte 1:25 000 aus ATKIS-Daten*. In: Kartographische Nachrichten, 48, S. 133-138, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- ROELOFS, G. (1999): *PNG – The Definitive Guide*. O'Reilly, Sebastopol [u. a.].

- SCHEUERER, A. (2000): *SID-2000 – Neues von der Displayfront*. In: Network GmbH (Hrsg.): Konferenzband zur 15. Electronic Displays 2000, Berlin, S. 10-15.
- SCHMIDT, B. und C. UHLENKÜKEN (Hrsg. 2000): *Visualisierung raumbezogener Daten: Methoden und Anwendungen*. IfGI Prints, Nr. 8, Institut für Geoinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster.
- SCHOBER, H. (1964): *Das Sehen*. Band II, Fachbuchverlag Leipzig.
- SHARP (Hrsg. 1998): *Philips, Sharp and Sony Develops a 42 inch High Resolution HDTV PALC, and a High Brightness, Low Power Consumption VGA PALC*.
URL: <http://www.sharp-world.com/sc/gaiyou/news-e/9819.htm> (September 2001).
- SIEBER, R. und H. R. BÄR (1997): „Atlas der Schweiz – Multimedia-Version“ *Adaptierte GIS-Techniken und qualitative Bildschirmgraphik*. In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR KARTOGRAPHIE (Hrsg.): Kartographische Schriften, Bd. 2, S. 67-77, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- SPIESS, E. (1996a): *Attraktive Karten – ein Plädoyer für gute Kartengraphik*. In: *Kartographie im Umbruch – neue Herausforderungen, neue Technologien*. Beiträge zum Kartographiekongress, S. 56-69, Interlaken.
- SPIESS, E. (1996b): *Digitale Technologie und graphische Qualität von Karten und Plänen*. In: *Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik*, Jg. 94, Heft 9/1996, S. 467- 472.
- STAMS, W. (1983): Stichworte „Darstellungsschicht“, „kartographische Darstellungsmethoden“ und „Mehrphasendarstellung“. In: OGRISSEK, R. (Hrsg. 1983), S. 88f., 316ff. und 395f.
- STEVENS, S. S. (1957): *On the Psychophysical Law*. In: *Psychological Review*, 64, S. 153-181.
- STROTHOTTE, T. (1998): *Abstraction in Interactive Computational Visualization*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- TESCHNER, H. (1991): *Offsetdrucktechnik – Informationsverarbeitung, Technologien und Werkstoffe in der Druckindustrie*. Fachschriftenverlag, Fellbach.
- TIPLER, P. A. (1994): *Physik*. Übersetzt nach der Amerikanischen Ausgabe, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin, Oxford.
- TÖPFER, F. (1983): Stichwort „Zeichnungsmenge“. In: OGRISSEK, R. (Hrsg. 1983), S. 656f.
- TURTSCHI, R. (2000): *Mediendesign*. Niggli, Sulgen.
- WANG, W.-C., C.-Y. SHEU, C.-H. TSAI, Y.-S. FRAN, L.-K.-HSEU und R.-F. JEAN (1999): *Development of a 4-in. High-Luminance Field Emission Display*. In: *SID 1999 Proceedings*, 37-2, Publikation auf CD-ROM.
URL: http://www.sid.org/sid99/data/37_02.pdf (September 2001)
- WODTKE, K.-P. (1997): *Kartographische Ausgaben aus dem ATKIS-DLM 25 – Von der Präsentationsgraphik zur Digitalen Topographischen Karte*. In: DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR KARTOGRAPHIE (Hrsg.): Kartographische Schriften, Bd. 3, S. 58-70, Kirschbaum Verlag, Bonn.
- WOLBERG, G. (1990): *Digital Image Warping*. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos.
- YODER, L. (1997): *The Digital Display Technology of the Future*. Texas Instruments White Paper.
URL: <http://www.dlp.com/dlp/resources/whitepapers/pdf/yoder.pdf> (September 2001).

Lebenslauf

	Stefan Neudeck geboren am 22. November 1971 in Leipzig
1978 – 1986	Helmholtz-Oberschule (Polytechnische Oberschule) in Leipzig
1986 – 1990	Erweiterte Oberschule „Georgi Dimitroff“ in Leipzig
1990 – 1996	Kartografiestudium an der Technischen Universität Dresden, Februar 1996 Diplom
1996 – 1997	Grundwehrdienst
Februar – März 1997	Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Länderkunde Leipzig
seit April 1997	Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgemeinschaft Geo- informationssysteme (AGIS), Universität der Bundeswehr München

Dank

Die Anregung zu dieser Arbeit gaben die beiden Berichterstatter, Univ.-Prof. Dr.-Ing. K. Brunner und Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Caspary. Bei ihnen möchte ich mich für ihre Unterstützung während der Durchführung, für die wertvollen Denkanstöße und für ihre jederzeitige Bereitschaft zu fachlichen Diskussionen sehr herzlich bedanken.

Gefördert wurde die Fertigstellung der Arbeit auch durch die Zusammenarbeit des Amtes für Militärisches Geowesen und der Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme (AGIS). Aus dem Projekt „Herstellung von Übersichtskarten aus VMap Level 1“, in dessen Rahmen Untersuchungen zur Gestaltung von Karten für die Bildschirmvisualisierung vorgenommen wurden, konnten Ergebnisse in die Dissertation einfließen. Bei allen Beteiligten, vor allem jedoch bei den Projektverantwortlichen Herrn Dr.-Ing. H. Euker vom Amt für Militärisches Geowesen und Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Reinhardt (AGIS) möchte ich mich dafür bedanken, dass die Möglichkeit dieser förderlichen Projektarbeit gegeben war. Letzterer übernahm freundlicherweise auch den Vorsitz im Promotionsverfahren.

Zu guter Letzt gilt mein Dank meinen Freunden und Kollegen sowie meiner Familie. Sie alle haben in den letzten Jahren meiner Arbeit viel Verständnis entgegengebracht, mich zur Weiterarbeit ermuntert und geduldig auf die Fertigstellung der Dissertation gewartet.

Informationen zum Datenträger

Der beiliegende Datenträger enthält Grafikbeispiele, Kartenproben, Kartenausschnitte der eingeschätzten Produkte und den Text der vorliegenden Arbeit (Verzeichnisse *Grafikbeispiele*, *Kartenproben*, *Produkte*, *Text* sowie die Datei *index.html*).

Der Textteil liegt im pdf-Format vor und ist für die Druckausgabe optimiert. Die Ausgabe auf Papier ist notwendig, da im Dokument Abbildungen wiedergegeben werden, die konventionelle Grafik der Bildschirmvisualisierung gegenüberstellen. Bei Betrachtung am Bildschirm werden die Unterschiede nicht sichtbar. Der Acrobat Reader kann unter

<http://www.adobe.com/products/acrobat/>

aus dem Internet herunter geladen werden kann.

Die Kartenproben und einige der Grafikbeispiele liegen als svg-Dateien (*svg = Scalable Vector Graphics*) vor. Dieser Dateityp wurde gewählt, um eine zweite Rasterkonvertierung, die durch Nutzung eines Rasterdatenformats (z. B. PNG, GIF, JPEG) notwendig wäre, zu vermeiden. Für die Betrachtung wird der *svg-Viewer* der Versionen 1 oder 2 von *Adobe* benötigt. Aus lizenzrechtlichen Gründen war es leider nicht möglich, diesen mit auf der CD-ROM zu speichern. Er kann für Windows 95, Windows 98 und Windows NT 4 jedoch kostenlos aus dem Internet unter

<http://www.adobe.com/svg/viewer/install/>

herunter geladen werden. Des Weiteren sind für die Nutzung der CD folgende Internetbrowser erforderlich:

- Internet Explorer Versionen 4.0 bis 5.0
- Netscape Communicator 4.07 – 4.76

Für den Internet Explorer 5.5 und die Netscape-Version 6 steht der *svg-Viewer* leider noch nicht zur Verfügung. Die Verwendung des Internet Explorers der Version 5.0 hat sich im Zuge der Aufbereitung der Kartenproben als geeigneter als die des Netscape Communicators herausgestellt.

Grafikbeispiele und Kartenproben, mit denen die Grafikdeformation gezeigt werden soll, wurden als GIF-Bilder abgelegt. Dies gilt auch für die Kartenausschnitte der Produktbeispiele.

Umgang mit dem *svg-Viewer*

Installation

Zur Installation des *svg-Viewers* ist die aus dem Internet heruntergeladene exe-Datei zu aktivieren und den Installationsanweisungen zu folgen. Ein Neustart des Systems ist nicht erforderlich.

Navigation

Nach dem Aktivieren einer *svg-Datei* können Vergrößerung und Verkleinerung des Kartenausschnitts über die Funktionen *Einzoomen* und *Auszoomen* des Steuermenüs des *svg-Viewers* vollzogen werden. Dieses Menü wird durch Mausklick (rechte Taste) im Grafikfenster der *svg-Datei* geöffnet werden. Die Originalgröße der Datei ist ebenfalls in diesem Menü einstellbar. Das Verschieben des Kartenausschnitts ist in der *svg-Viewer-Version 1* leider nur durch Verkleinern und anschließende Vergrößerung eines anderen Bereichs möglich.

Öffnen des *html-Dokuments*

Der Zugriff auf die Daten der CD wird über die Datei *index.html* ermöglicht. Wenn einer der oben genannten Browser als Standardbrowser eingestellt ist, genügt die Aktivierung dieser Datei (Doppelklick). Untereinander sind die Seiten durch Verweise miteinander verknüpft. Aufgerufene *svg-* und *GIF-Dateien* müssen jedoch mit dem *Zurück-Button* des Browsers verlassen werden.

Schriftenreihe des Studiengangs Geodäsie und Geoinformation der Universität der Bundeswehr München

Bisher erschienene Hefte:

Heft 1/1978 (*vergriffen*)

A. Schödlbauer (*Bearb.*): Curriculum für den wissenschaftlichen Studiengang Vermessungswesen der Hochschule der Bundeswehr München. 53 S.

Heft 2/1978

A. Chrzanowski and E. Dorrer (*Eds.*): Proceedings „Standards and Specifications for Integrated Surveying and Mapping Systems“. Workshop held in Munich, Federal Republic of Germany, 1-2 June, 1977. Assisted by J. McLaughlin. VII, 181 S.

Heft 3/1978

W. Caspary und A. Geiger: Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit elektronischer Neigungsmesser. 62 S.

Heft 4/1979

E. Baumann, W. Caspary, H. Dupraz, W. Niemeier, H. Pelzer, E. Kuntz, G. Schmitt und W. Welsch: Seminar über Deformationsanalysen, gehalten an der Hochschule der Bundeswehr München. 106 S.

Heft 5/1981

K. Torlegård: Accuracy Improvement in Close Range Photogrammetry. 68 S.

Heft 6/1982

W. Caspary und W. Welsch (*Hrsg.*): Beiträge zur großräumigen Neutrassierung. 271 S.

Heft 7/1982

K. Borre and W. M. Welsch (*Eds.*): International Federation of Surveyors - FIG. Proceedings „Survey Control Networks“. Meeting of Study Group 5B, 7th-9th July, 1982, Aalborg University Centre, Denmark. 431 S.

Heft 8/1982

A. Geiger: Entwicklung und Erprobung eines Präzisionsneigungstisches zur Kalibrierung geodätischer Instrumente. Dissertation. 125 S.

Heft 9/1983

W. Welsch (*Hrsg.*): Deformationsanalysen '83. Geometrische Analyse und Interpretation von Deformationen Geodätischer Netze. Beiträge zum Geodätischen Seminar 22. April 1983. 339 S.

Heft 10/1984

W. Caspary, A. Schödlbauer und W. Welsch (*Hrsg.*): 10 Jahre Hochschule der Bundeswehr München. Beiträge aus dem Institut für Geodäsie. 244 S.

Heft 11/1984 (*vergriffen*)

W. Caspary und H. Heister (*Hrsg.*): Elektrooptische Präzisionsstreckenmessung. Beiträge zum Geodätischen Seminar 23. September 1983. 270 S.

Heft 12/1984

P. Schwintzer: Analyse geodätisch gemessener Punktlageänderungen mit gemischten Modellen. Dissertation. 159 S.

Heft 13/1984

G. Oberholzer: Landespflege in der Flurbereinigung. 81 S.

Heft 14/1984

G. Neukum: Fernerkundung der Planeten und kartographische Ergebnisse. Mit Beiträgen von G. Neugebauer. Herausgegeben von G. Neugebauer. 102 S.

Heft 15/1984

A. Schödlbauer und W. Welsch (*Hrsg.*): Satelliten-Doppler-Messungen. Beiträge zum Geodätischen Seminar 24./25. September 1984. 396 S.

Heft 16/1985 (*vergriffen*)

M. K. Szacherska, W. M. Welsch: Geodetic Education in Europe. 234 S.

Heft 17/1986

B. Eissfeller, G. W. Hein: A Contribution to 3d-Operational Geodesy. Part 4: The Observation Equations of Satellite Geodesy in the Model of Integrated Geodesy. 190 S.

Heft 18/1985

G. Oberholzer: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil II. 116 S.

Heft 19/1986 (*vergriffen*)

H. Landau, B. Eissfeller and G. W. Hein: GPS Research 1985 at the Institute of Astronomical and Physical Geodesy. 210 S.

Heft 20/1985

Heft 20-1

W. Welsch and L. A. Lapine (Eds.): International Federation of Surveyors - FIG. Proceedings „Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys“. Joint Meeting of Study Groups 5B and 5C, July 1-3, 1985. Volume 1. 310 S.

Heft 20-2

W. Welsch and L. A. Lapine (Eds.): International Federation of Surveyors - FIG. Proceedings „Inertial, Doppler and GPS Measurements for National and Engineering Surveys“. Joint Meeting of Study Groups 5B and 5C, July 1-3, 1985. Volume 2. S. 311 - 634

Heft 21/1986

G. Oberholzer: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil III. 100 S.

Heft 22/1987

W. Caspary, G. Hein, A. Schödlbauer (Hrsg.): Beiträge zur Inertialgeodäsie. Geodätisches Seminar 25./26. September 1986. 386 S.

Heft 23/1987

E. Dorrer und J. Peipe (Hrsg.): Motografie. Symposium 11./12. März 1986. 285 S.

Heft 24/1987

G. Neugebauer (Hrsg.): Brenta-Monographie – Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Hochgebirgskartographie. Mit Beiträgen von *D. Beineke, H. C. Berann, W. de Concini, G. Hell, D. Herm, H. Immel, U. Kleim, G. Neugebauer und K. Ringle.* 187 S.

Heft 25/1987

A. Perelmutter: Beiträge zur Ausgleichung geodätischer Netze. 75 S.

Heft 26/1987

W. Ellmer: Untersuchung temperaturinduzierter Höhenänderungen eines Großturbinentisches. Dissertation. 109 S.

Heft 27/1988

H. Heister: Zur automatischen Kalibrierung geodätischer Längenmeßinstrumente. Habilitationsschrift. 213 S.

Heft 28/1987

E. H. Paßberger: Systemstudie zur Sicherung ökologischer Vorrangflächen mittels Bodenordnung in Bayern / System study for the protection of ecological priority areas by means of Land rearrangement in Bavaria. Dissertation. 186 S.

Heft 29/1987

H. Glasmacher: Die Gaußsche Ellipsoid-Abbildung mit komplexer Arithmetik und numerischen Näherungsverfahren. Dissertation. 131 S.

Heft 30/1987

Y. Zhang: Beiträge zum Entwurf von optimalen Beobachtungsplänen für tektonische Überwachungsnetze. Dissertation. 151 S.

Heft 31/1988

W. Lechner: Untersuchung einer kreiselorientierten Landfahrzeug-Navigationsanlage im Hinblick auf geodätische Anwendungen und Möglichkeiten der Höhenübertragung. Dissertation. 165 S.

Heft 32/1988

R. König: Zur Fehlertheorie und Ausgleichung inertialer Positionsbestimmungen. Dissertation. 143 S.

Heft 33/1988

H. Borutta: Robuste Schätzverfahren für geodätische Anwendungen. Dissertation. 161 S.

Heft 34/1988

H. Landau, K. Hehl, B. Eissfeller, G. W. Hein and I. W. Reilly: Operational Geodesy Software Packages. 325 S.

Heft 35/1988

G. Oberholzer, E. Paßberger: Landespflege in der Flurbereinigung, Teil IV. 153 S.

Heft 36/1988

H. Landau: Zur Nutzung des Global Positioning Systems in Geodäsie und Geodynamik: Modellbildung, Softwareentwicklung und Analyse. Dissertation. 287 S.

Heft 37/1989

B. Eissfeller: Analyse einer geodätischen raumstabilisierten Inertialplattform und Integration mit GPS. Dissertation. 327 S.

Heft 38/1990 (*vergriffen*)

Heft 38-1

A. Schödlbauer (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung. Beiträge zum 22. DVW-Seminar 12.-14. April 1989. Teil I: Global Positioning System. 352 S.

Heft 38-2

A. Schödlbauer (Hrsg.): Moderne Verfahren der Landesvermessung. Beiträge zum 22. DVW-Seminar 12.-14. April 1989. Teil II: Nivellement. Teil III: Vermessungskreisel. S. 353 - 551

Heft 39/1989

N. Kersting, W. Welsch (Hrsg.): Rezente Krustenbewegungen. Seminar 8./9. Juni 1989. 307 S.

Heft 40/1989

G. Oberholzer: Ländliche Kulturgeschichte und Landentwicklung. 214 S.

Heft 41/1990

G. W. Hein, K. Hehl, B. Eissfeller, M. Ertel, W. Jacoby, D. Czerek: On Gravity Prediction Using Density and Seismic Data. 148 S.

Heft 42/1992

N. Kersting: Zur Analyse rezenter Krustenbewegungen bei Vorliegen seismotektonischer Dislokationen. Dissertation. V, 246 S.

Heft 43/1992

K. Hehl: Bestimmung von Beschleunigungen auf einem bewegten Träger durch GPS und digitale Filterung. Dissertation. XII, 206 S.

Heft 44/1992

W. Oswald: Zur kombinierten Ausgleichung heterogener Beobachtungen in hybriden Netzen. Dissertation. 128 S.

Heft 45/1993

Institut für Geodäsie (Hrsg.): Das Global Positioning System im praktischen Einsatz der Landes- und Ingenieurvermessung. Beiträge zum Geo-dätischen Seminar 12.-14. Mai 1993. 314 S.

Heft 46/1994

K. Brunner und J. Peipe (Hrsg.): Festschrift für Prof. Dr.-Ing. Egon Dorrer zum 60. Geburtstag. 254 S.

Heft 47/1994

Heft 47-1

K.-H. Thiemann: Die Renaturierung strukturarmer Intensivagrargebiete in der Flurbereinigung aus ökologischer und rechtlicher Sicht. Dissertation. Teil I: Renaturierungsleitbild, Naturschutzverfahren. XXXVI, 384 S.

Heft 47-2

K.-H. Thiemann: Die Renaturierung strukturarmer Intensivagrargebiete in der Flurbereinigung aus ökologischer und rechtlicher Sicht. Dissertation. Teil II: Planungsrechtliche Aspekte. XXXVI, S. 385 - 572

Heft 48/1994

C. Schwartz: Experimente zur GPS-gestützten Aerotriangulation unter besonderer Berücksichtigung systematischer Einflüsse. Dissertation. VIII, 192 S.

Heft 49/1995

R. Scheuring: Zur Qualität der Basisdaten von Landinformationssystemen. Dissertation. 126 S.

Heft 50/1997

W. M. Welsch, M. Lang, M. M. Miller (Eds.): Geodetic Activities, Juneau Icefield, Alaska, 1981 - 1996. 268 S.

Heft 51/1996

H. Blumenhofer: Untersuchungen zu hochpräzisen kinematischen DGPS-Echtzeitverfahren mit besonderer Berücksichtigung atmosphärischer Fehlereinflüsse. Dissertation. X, 168 S.

Heft 52/1997

J. G. Wang: Filtermethoden zur fehlertoleranten kinematischen Positionsbestimmung. Dissertation. XV, 138 S.

Heft 53/1996

G. Chen: Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Zeitbereich. Dissertation. III, 128 S.

Heft 54/1997

J. Dold: Ein hybrides photogrammetrisches Industriemeßsystem höchster Genauigkeit und seine Überprüfung. Dissertation. 140 S.

Heft 55/1997

B. Eissfeller: Ein dynamisches Fehlermodell für GPS Autokorrelationsempfänger. Habilitationsschrift. XII, 182 S.

Heft 56/1997

T. Sutor: Robuste Verfahren zur Analyse linearer stochastischer Prozesse im Spektralbereich. Dissertation. 123 S.

Heft 57/1997

G. Oberholzer: Ländliche Kulturgeschichte und Landentwicklung, Teil II. 186 S.

Heft 58/1997

D. Zhong: Datumsprobleme und stochastische Aspekte beim GPS-Nivellement für lokale Ingenieurnetze. Dissertation. 160 S.

Heft 59/1997

T. Jiang: Digitale Bildzuordnung mittels Wavelet-Transformation. Dissertation. II, 136 S.

Heft 60/2000

Heft 60-1

W. Caspary, H. Heister, A. Schödlbauer, W. Welsch (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Teil 1: Wissenschaftliche Beiträge und Berichte. 331 S.

Heft 60-2

W. Caspary, H. Heister, A. Schödlbauer, W. Welsch (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Teil 2: Forschungsarbeiten und Veröffentlichungen. 113 S.

Heft 60-3

W. Caspary, H. Heister, A. Schödlbauer, W. Welsch (Hrsg.): 25 Jahre Institut für Geodäsie. Teil 3: Aus dem Leben des Instituts. 149 S.

Heft 61/1998

T. Cui: Generierung hochwertiger Digitaler Geländemodelle aus analogen Karten mittels Mathematischer Morphologie. Dissertation. 188 S.

Heft 62/1999

K. Brunner, W. M. Welsch (Hrsg.): Hochgebirgs- und Gletscherforschung. Zum 100. Geburtstag von Richard Finsterwalder. 114 S.

Heft 63/1999

C. Fosú: Astrogeodetic Levelling by the Combination of GPS and CCD Zenith Camera. Dissertation. 155 S.

Heft 64/1999

W. Werner: Entwicklung eines hochpräzisen DGPS-DGLONASS Navigationssystems unter besonderer Berücksichtigung von Pseudolites. Dissertation. 226 S.

Heft 65/1999

K. Krack: Dreizehn Aufgaben aus der Landesvermessung im Geographischen Koordinatensystem. 84 S.

Heft 66/2000

G. Joos: Zur Qualität von objektstrukturierten Geodaten. Dissertation. 150 S.

Heft 67/2000

H. Sternberg: Zur Bestimmung der Trajektorie von Landfahrzeugen mit einem hybriden Meßsystem. Dissertation. 158 S.

Heft 68/2000

G. Oberholzer: Die Weiterentwicklung der Kulturlandschaft. Landespflege in der Flurbereinigung, Teil V. 150 S.

Heft 69/2000

R. Hollmann: Untersuchung von GPS-Beobachtungen für kleinräumige geodätische Netze. Dissertation. 350 S.

Heft 70/2001

U. Roßbach: Positioning and Navigation Using the Russian Satellite System GLONASS. Dissertation. 167 S.

Heft 71/2001

D. Beineke: Verfahren zur Genauigkeitsanalyse für Altkarten. Dissertation. 155 S.

Heft 72/2001

V. Oehler: Entwicklung eines „end-to-end“ Simulators zur Satellitennavigation unter besonderer Berücksichtigung von Pseudolite gestützten GNSS-Landesystemen. Dissertation. 212 S.

Heft 73/2001

T. Schüler: On Ground-Based GPS Tropospheric Delay Estimation. Dissertation. 370 S.

Heft 74/2001

S. Neudeck: Zur Gestaltung topografischer Karten für die Bildschirmvisualisierung. Dissertation. 131 S.

