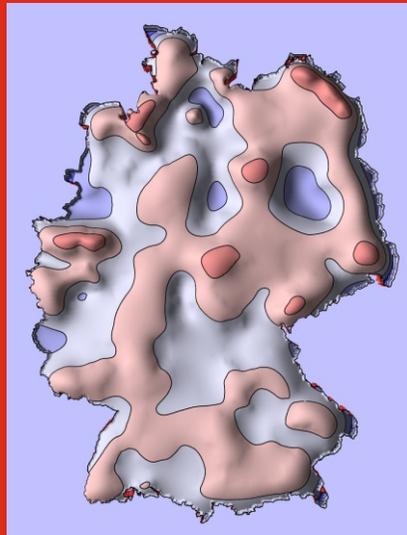


Wolf-Dieter Rase

Kartographische Oberflächen



Interpolation, Analyse, Visualisierung

Nach dem Abitur an einem naturwissenschaftlichen Gymnasium in Saarbrücken hat Wolf-Dieter Rase Geographie und Sportwissenschaft an der Universität des Saarlandes studiert und das Studium als Diplom-Geograph abgeschlossen. Danach folgte ein zweijähriges Aufbaustudium an der Simon Fraser University in Vancouver-Burnaby, Kanada. Nach einigen Jahren Berufstätigkeit in einer Bundesforschungsanstalt promovierte er an der Freien Universität Berlin bei Prof. Ulrich Freitag zum Dr. rer. nat. mit einer Dissertation zur Interpolation und Darstellung kartographischer Oberflächen. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zu Oberflächen hat er nach der Pensionierung weitergeführt und mit der zweiten Auflage dieses Buchs zu einem (vorläufigen) Abschluss gebracht.

Satz und Umschlaggestaltung: Wolf-Dieter Rase

E-Mail: wolf.rase@t-online.de

Herstellung und Verlag: BoD – Books on Demand, Norderstedt

ISBN 978-3-7392-0922-7

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über dnb.dnb.de abrufbar.

Die vorliegende Publikation ist urheberrechtlich geschützt, alle Rechte vorbehalten. Die Verwendung der Texte und Abbildungen, auch auszugsweise, in digitalen Formaten und elektronischen Systemen, bedarf der schriftlichen Zustimmung des Autors.

Es wird darauf hingewiesen, dass einige der im Buch verwendeten Bezeichnungen für Hardware und Software, Markennamen und Produktbezeichnungen dem warenzeichen-, marken- und patentrechtlichem Schutz unterliegen, auch wenn das im Einzelfall nicht besonders vermerkt ist.

Alle Informationen, Programme und Hyperlinks wurden nach bestem Wissen überprüft. Der Autor kann nicht für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit diesem Text und den Abbildungen stehen.

Dieses Buch ist auch in digitaler Form als E-Buch erhältlich.

Die Titelseite zeigt die Residuen-Oberfläche der Arbeitslosenquoten in den Raumordnungsregionen der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 2006. Für die Berechnung der Residuen wurde die z-Werte der Oberfläche, die mit dem Verfahren der pyknophylaktischen Interpolation erzeugt wurde, von den Werten der Trend-Oberfläche 5. Grades subtrahiert.

Ein paar Worte vorweg

Meine ersten Arbeiten mit der Interpolation und Darstellung von kartographischen Oberflächen begannen im Jahr 1969, als ich ein Aufbaustudium an der Simon Fraser University in Vancouver-Burnaby aufnahm. Während der Zeit in Kanada habe ich die ersten Versuche durchgeführt, Teile der Erdoberfläche durch Isolinien und andere Techniken darzustellen. Viele Jahre später habe ich mich im Rahmen einer Dissertation wieder mit der Interpolation und Visualisierung von Oberflächen intensiv beschäftigt. Meiner beruflichen Umgebung entsprechend wurden die Oberflächen aus statistischen Informationen berechnet, etwa der Bevölkerungsdichte oder dem Brutto-Inlandsprodukt. Zur besseren Unterscheidung von der Erdoberfläche habe ich diese bivariaten Kurven *immaterielle Oberflächen* genannt. Neben den Interpolationsverfahren wurden konventionelle und experimentelle Darstellungstechniken für Oberflächen implementiert und getestet.

Vor einiger Zeit habe ich sehr gute Erfahrungen mit dem Druck eines Buches nach dem Konzept des *print on demand* gemacht. Eine Produktionsfirma – das Wort „Verlag“ wäre eine irreführende Bezeichnung – druckt das vom Autor fertig gesetzte Buch. Gegen einen Aufpreis können zusätzlich Optionen für ein E-Buch und weitere Dienstleistungen erworben werden. Wenn gewünscht, wird auch eine ISBN (Internationale Standard-Buchnummer) vergeben, damit das Werk über den Buchhandel vertrieben werden kann.

Diese neue Art der Publikation hat mich zusätzlich motiviert, meine Kenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Interpolation, Analyse und Visualisierung von kartographischen Oberflächen in einem Buch zusammenzufassen. Frühere Texte wurden überarbeitet und auf den aktuellen Stand gebracht, mit Berücksichtigung neuerer Literatur. Zusätzliche Informationen zur Nutzung von häufig angewendeten Software-Paketen für Geo-Informationssysteme, vor allem ArcGIS for Desktop, Surfer und weiteren Programmen für anspruchsvolle graphische Darstellungen wurden hinzugefügt.

Ebenfalls neu sind die Adressen von Publikationen und anderen Referenzen, die über das World Wide Web frei verfügbar sind. Bei manchen Formaten von E-Books kann direkt durch Anklicken des Hyperlinks auf die www-Seite oder die PDF-Datei zugegriffen werden. Das Datum hinter der www-Adresse (Monat/Jahr) gibt den Zeitpunkt des letzten Zugriffs an. Für einige Referenzen konnten aus rechtlichen Gründen keine www-Adressen angegeben werden. Oft führt aber die Anfrage über Suchmaschinen zum gewünschten Dokument.

Der Text wendet sich an alle Nutzer von Geo-Informationssystemen, die kontinuierliche Oberflächen aus unregelmäßig verteilten Datenpunkten oder aus Polygonen mit ei-

nem aufsummierten Datenwert erzeugen wollen. Die überwiegende Mehrzahl der Anwender wird dafür die gängigen GIS-Pakete nutzen. Das sind vor allem ArcGIS for Desktop mit Erweiterungen oder das Programm Surfer. In anderen Software-Paketen sind ebenfalls Optionen für die Interpolation und Visualisierung von Oberflächen enthalten, auch in Open-Source-Programmen. Viele der Optionen in der freien Software sind mit den hier diskutierten Verfahren identisch. Für die Experten, die noch selbst programmieren und sich damit die Werkzeuge anfertigen, die in den Standardprogrammen fehlen, stellt der Text einige Grundlagen und weiterführende Referenzen zur Verfügung.

Für die Visualisierung von 2½D-Oberflächen ist die Wahrscheinlichkeit geringer als bei den Interpolationsmethoden, dass sich Anwender ihre eigene Software schreiben werden. Das Angebot an freier und kommerzieller Computergraphik-Software ist sehr groß, zumindest für die gängigen Visualisierungsverfahren. Für manche Methoden, die etwas weiter von den häufig angewendeten Techniken entfernt sind, ist manchmal die Programmierung eigener Software notwendig, zumindest aber von Brücken für den Übergang zwischen unterschiedlichen Programmen und Datenformaten.

Für einige experimentelle Interpolations- und Darstellungstechniken und den Datenaustausch wurde das Programm Konkar geschrieben. Konkar ist über Jahrzehnte gewachsen, mit vielen im Laufe der Zeit hinzugefügten Anbauten, die nicht immer gut integriert waren. Deshalb war es dringend notwendig, das Programm inhaltlich und programmtechnisch gründlich zu überarbeiten. Dieser Prozess hat sich als weit umfangreicher herausgestellt als erwartet, zumal während der Arbeit dauernd neue Baustellen auftauchen. Wann ein einigermaßen stabiler Status einschließlich ausreichender Dokumentation erreicht sein wird, ist im Augenblick nicht abzusehen. Deshalb kann Konkar vorerst nicht für den allgemeinen Gebrauch freigegeben werden.

Wer möchte, kann mir eine E-Mail an die Adresse wolf.rase@t-online.de senden, bitte mit vollem Namen, Institution, Telefonnummer und E-Mail-Adresse. Der Kontakt soll dazu dienen, über Neuigkeiten, Weiterentwicklungen und Ergänzungen zu diesem Text und zu Konkar zu informieren. Diese persönlichen Angaben werden Dritten selbstverständlich nicht zugänglich gemacht.

Dieses Buch wäre ohne die Ermunterung und Unterstützung durch die Professoren (emeriti) Ulrich Freitag (Freie Universität Berlin), Thomas Poiker (Simon Fraser University) und Waldo Tobler (University of California at Santa Barbara) wahrscheinlich nicht geschrieben worden. Ich danke ihnen herzlich für die Hilfe und die Ratschläge über viele Jahre hinweg.

Inhalt

1	Von Symap zu Geo-Informationssystemen	1
	Karten aus dem Zeilendrucker	1
	Software-Unterstützung	2
	Geo-Informationssysteme	3
	Interpolation von Oberflächen aus Punkten und Polygonen	4
	Visualisierung von Oberflächen	5
	Standard-Pakete für Geo-Informationssysteme	6
	Freie Software für GIS und Visualisierung	9
2	Kartographische Oberflächen	11
	Funktionen von Karten	11
	Anwendung von kartographischen Oberflächen	12
	Modell und Darstellung	17
	Immaterielle Oberflächen	18
	Probleme der Anwendung	18
3	Datenmodelle und Datenstrukturen für Oberflächen	21
	Geometrische und topologische Kodierung	21
	Datenstrukturen für 2½D-Oberflächen	22
	Abgrenzung des Untersuchungsgebietes	25
	Netz aus unregelmäßigen Dreiecken	26
	Datenstrukturen für 3D-Körper	30
	Dateiformate	32
4	Geo-Basisdaten	37
	Das Erdellipsoid oder Geoid	37
	Topographische Informationen, Grenzen	38
	Crowdsourcing	40
	Digitale Geländemodelle	42
	Bodenbedeckung und Landnutzung	45
	Fachdaten	47
5	Interpolation von Oberflächen	51
	Erhaltung der Eigenschaften	51
	Interpolation von Kontinua	52
	Auswahl des Interpolationsverfahrens	57
	Welches Interpolationsverfahren sollte man anwenden?	59
6	Punkte auf regelmäßige Gitter	63
	Berechnung des gewichteten Mittelwerts	64
	Modifizierte Shepard-Interpolation	69
	Radiale Basisfunktionen	73
	Kriging	75
	Lokale Polynome	78

Spline-Interpolation	80
Splines unter Spannung mit minimaler Krümmung	85
Interpolation mit sehr dichten Ausgangsdaten	86
7 Punkte auf ein unregelmäßiges Dreiecksnetz	91
Vorteile der Interpolation auf ein TIN	91
Qualitäts-Netze	92
Der Algorithmus von CHEW	93
Programm Triangle	93
Interpolation auf ein unregelmäßiges Dreiecksnetz	97
8 Interpolation von flächenbezogenen Daten	99
Stützpunkte als geometrische Stellvertreter	100
Pyknophylaktische Interpolation	101
Volumenerhaltung mit Iteration	103
Probleme beim regelmäßigen Gitter	109
Pyknophylaktische Interpolation im Dreiecksnetz (TIN)	110
Regelmäßiges Gitter oder unregelmäßiges Dreiecksnetz?	112
Areal interpolation: Umrechnung auf andere Raumgliederungen	113
Flächenbezogene Interpolation in ArcGIS	113
9 Interpolation von Oberfläche zu Oberfläche	117
Bilineare Interpolation im Gitter	117
Spline-Interpolation von Gitter auf Gitter	119
Allgemeines Verfahren für die Gitter-Interpolation	119
Interpolation von Dreiecksnetz auf Dreiecksnetz	121
10 Trend-Oberflächen	123
Trend-Oberflächen als bivariate Polynome höheren Grades	124
Räumlicher Trend der Arbeitslosigkeit	127
Residuen-Analyse	127
11 Punktmuster-Analyse	133
Windkraft-Anlagen in Deutschland	133
Globale Punktverteilung: R-Statistik	134
Quadrat-Analyse	137
Bivariate Kerndichte-Schätzung	138
Kerndichte-Schätzung für Windenergie-Anlagen	140
Probleme mit der Vermittelbarkeit der Kerndichte-Schätzung	141
12 Arithmetische Operationen	145
Einfache Verknüpfungen über die Grundrechenarten	145
Digitale Filter	146
Ableitungen und Funktionen	149
13 Formen und Eigenschaften	151
Exposition und Hangneigung	151

Wölbung	154
Sichtbarkeit	155
Reliefenergie	156
14 Charakteristische Punkte, Linien und Flächen	159
Analyse der Erdoberfläche	160
Immaterielle Oberflächen	161
Auffinden der Charakteristika	164
15 Datenreduktion	171
Vereinfachung und Generalisierung	171
Regelmäßige Auswahl im Gitter	173
Vom regelmäßigen Gitter zum TIN	174
Datenreduktion im Dreiecksnetz	180
Punktbezogene Datenreduktion	183
16 Kartographische Visualisierung	187
Darstellung von Oberflächen	187
Graphische Semilogie	188
Funktion der visuellen Variablen	189
17 Isolinien und Isoplethen	195
Identifizierung der Isolinien-Höhen	196
Zusammengesetzte Liniensignaturen	197
Isoflächen oder Schichtflächen	198
Verwandte der Isolinien-Darstellung	200
Isolinien-Darstellungen erfordern Expertenwissen	203
18 Simulation der Beleuchtung	205
Schattenplastik	205
Berechnung der Facetten-Helligkeit	206
Diffuse Reflexion	208
Mehrere Lichtquellen	213
Kombination von Visualisierungstechniken	215
Weitere Kombinationsmöglichkeiten	218
Simulierte Beleuchtung schafft Tiefenwirkung	222
19 Darstellung mit wertproportionalen Zeichen	225
Größenproportionale Punktsymbole	226
Streifen oder Bänder	232
Streupunkte	233
Schwärzungsgrad und Helligkeit	236
Ausmessbarkeit	238
20 Perspektivische Darstellungen	241
3D-Visualisierung in der Kartographie	241
Oberflächen in Schrägansicht	242

Rechnergestützte Realisierung	244
Das Verfahren der Strahlverfolgung	250
Das Programm POV-Ray	251
Visualisierung von kartographischen Oberflächen	253
Redundanzerhöhung durch Kombination visueller Variablen	256
Gute Annäherung an das gewohnte Sehen	261
21 Stereogramme	265
Stereopsis	265
Stereopaare in Aufsichts-Projektion	269
Stereogramme am Bildschirm	270
Stereogramme in einem Bild	272
Lentikular-Bilder	276
Autostereogramme	280
Beste Simulation der Wirklichkeit mit Stereogrammen	286
22 Reale 3D-Modelle	291
3D-Drucker für den Endverbraucher	292
Schnelle Prototypen-Fertigung	293
Technische Lösungen für RP	294
3D-Modelle von Oberflächen	301
3D-Modelle für die großräumige Planung	303
Bau von Landschaftsmodellen über das Internet	306
Nicht nur gucken, auch anfassen	313
23 Text- und Handbücher, Software	317
Geo-Informationssysteme	317
Visualisierung	318
Computergraphik, Interpolation, Mathematik, Geometrie	318
Software-Pakete für GIS und Visualisierung	319
Programmbibliotheken für Geometrie und Computergraphik	320
Stichwörter	321

1 Von Symap zu Geo-Informationssystemen

Karten aus dem Zeilendrucker

Im Jahr 1969 begann ich an der Simon Fraser University (SFU) in Vancouver-Burnaby, British Columbia, Kanada, ein Aufbaustudium im Fach Geographie. Ein paar Jahre zuvor hatte ich während eines Ferienjobs bei der Firma IBM eine Einführung in die Datenverarbeitung erhalten und programmieren gelernt. Diese Fertigkeiten habe ich in den folgenden Jahren in Vorlesungen und Übungen an der Universität und bei kleineren Programmieraufträgen weiter ausgebaut. In meiner Diplomarbeit spielte die multivariate Statistik und die Anwendung der Datenverarbeitung eine nicht unbedeutende Rolle. Es war deshalb sehr erfreulich, dass die SFU über eine sehr gute Computer-Ausstattung verfügte, zumindest im Vergleich mit deutschen Universitäten. Mit der Rechanlage der SFU konnte ich die computergestützten räumlichen Analysen und die Arbeiten zur kartographischen Automation weiterführen, jetzt ohne die zeitlichen und finanziellen Beschränkungen für die Nutzung des Computersystems.

Meine Vorkenntnisse in der Datenverarbeitung und Programmierung führten dazu, dass ich bald die Betreuung eines damals sehr verbreiteten Computerprogramms für kartographische Anwendungen übernahm. Mit dem Programm *Symap* konnte man Isoplethen-Karten und Choroplethen-Karten auf dem Zeilendrucker der Rechanlage ausgeben (RASE & PEUCKER 1971). *Symap* stammte aus dem *Laboratory for Computer Graphics and Spatial Analysis* der Harvard-Universität (mehr dazu bei CHRISMAN 2006). Mit einem Zeilendrucker war es möglich, durch geschickte Auswahl der gedruckten Zeichen im Druckraster Graphiken mit unterschiedlichen Helligkeitswerten zu erzeugen. Durch Mehrfachdruck auf die gleiche Druckzeile waren mehr Graustufen als mit dem üblichem Einfachdruck zu erzielen.

Die graphische Auflösung der Karten war sehr grob, normalerweise das Schnelldrucker-Raster von 10 Zeichen und 6 oder 8 Zeilen pro Zoll. Für Veröffentlichungen wurde die Karte so groß wie möglich ausgedruckt, meist auf mehreren Druckbahnen, die zusammengeklebt und fotografisch verkleinert wurden. Farbige Karten aus dem Drucker

sind damit ebenfalls produziert worden. Wie bei einer Einnutzen-Druckmaschine wurden mehrere Druckgänge hintereinander ausgeführt, jeweils mit einem Druckband in einer anderen Farbe. Später wurden auch Druckketten mit speziellen Zeichen und engerem Raster entwickelt, die für die Ausgabe von Karten mit dem Zeilendrucker optimiert waren. Das Programm Symap wurde als Quelltext in der Programmiersprache Fortran geliefert. Ich konnte es mir nicht verkneifen, zusätzliche Funktionen zu programmieren, die in spätere offizielle Versionen von Symap übernommen wurden, etwa die Berechnung von Trend-Oberflächen.

Im Rechenzentrum der Simon Fraser University war auch ein computergesteuertes Zeichengerät vorhanden. Damit war es möglich, farbige Schraffuren für Choroplethenkarten in besserer Qualität als mit dem Schnelldrucker zu erzeugen. Mit dem Zeichengerät konnte auch die Erdoberfläche durch Isolinien und andere Techniken visualisiert werden. Mit diesem Gerät wurde experimentelle Software für die Zeichnung von Isolinien und schrägen Schnittflächen realisiert (PEUCKER et al. 1972).

Software-Unterstützung

In den ersten Jahren meiner Berufstätigkeit habe ich mich vorwiegend mit der rechnerunterstützten Zeichnung von Choroplethen- und Proportionalymbol-Karten beschäftigt, für Präsentationen und Veröffentlichungen in der raumbezogenen Forschung. Kartographische Oberflächen spielten vorübergehend keine große Rolle mehr. Einige Jahre später konnte ich im Rahmen einer Dissertation die Arbeiten zur Interpolation und Visualisierung von Oberflächen wieder aufnehmen. Diese Oberflächen wurden aus statistischen Informationen interpoliert, wie sie in der raumbezogenen Forschung verwendet werden. Zur Unterscheidung von der Erdoberfläche habe ich diese Kurven *immaterielle Oberflächen* genannt.

Die damals verfügbare Software-Pakete für Geo-Informationssysteme und kartographische Anwendungen enthielten nur eine beschränkte Auswahl von Interpolations-Algorithmen und Darstellungstechniken für kontinuierliche Oberflächen. Als notwendiges Werkzeug für die Forschungsarbeit mit Oberflächen entstand deshalb das Programm *Konkar*. Konkar enthält viele Optionen für die Interpolation aus Datenpunkten und Polygonen.

Im Programm Konkar sind außer den Interpolations-Algorithmen viele Optionen für häufig angewendete kartographische Darstellungstechniken enthalten. Das sind zum Beispiel Isolinien, Isoplethen und wertproportionale Darstellungen. In Konkar wurden auch experimentelle Visualisierungstechniken realisiert, etwa simulierte Beleuchtung, perspektivische Darstellungen, Stereogramme und „echte“ 3D-Modelle. Die modernen Techniken werden von den Standardprogrammen für kartographische Anwendungen, zum Beispiel ArcGIS und Surfer, so gut wie nicht unterstützt. Für diese Oberflächen muss man auf CAD-Software zurückgreifen, die die von ArcGIS oder Surfer interpolierten Dateien importieren kann.

Inzwischen hat sich diese Situation erheblich verbessert. ArcGIS for Desktop mit seinen Erweiterungen bietet eine Vielfalt an Interpolationsverfahren an. Das Angebot an Visualisierungstechniken ist aber noch verbesserungsfähig. Das Programm Surfer in der Version 13 stellt ebenfalls viele Werkzeuge für die Interpolation und Bearbeitung bereit. In Bezug auf die Visualisierung hat Surfer leichte Vorteile gegenüber ArcGIS, zumindest für die Anwendungen, die hier im Vordergrund stehen.

Geo-Informationssysteme

Ende der siebziger Jahre wurden computergestützte Werkzeuge für Daten-Management, räumliche Analysen und kartographische Visualisierung zu Software-Systemen zusammengeführt. Die Kombination dieser Techniken in einem Paket erleichtert und beschleunigt die Speicherung raumbezogener Informationen, den Zugriff, die Analyse und Visualisierung von Grunddaten und Ergebnissen. Die Nutzung von graphischen Benutzeroberflächen (GUI) und anderen interaktiven Techniken der Computergraphik machen die Systeme benutzerfreundlicher. Das war ein Fortschritt gegenüber den bis dahin üblichen Programmen mit textorientierter Kommandozeilen-Steuerung. Insbesondere sollten auch Fachanwender dazu gebracht werden, die GIS-Software eigenhändig für ihre Analysen zu nutzen.

Eine Anmerkung zu den Begriffen muss hier eingeschoben werden. Oft findet man noch die Bezeichnung „Geographisches Informationssystem“. Das ist eine falsche Übersetzung des englischen Fachterminus „*geographical information system*“. Im Englischen bezieht sich ein Adjektiv immer auf den ersten Teil eines zusammengesetzten Begriffs. Die korrekte Übersetzung wäre also „System für geographische Informationen“, also Daten, die eine Lage-Information zur Verortung der Objekte auf der Erdoberfläche tragen. Das ist sprachlich etwas umständlich, deshalb hat man sich auf die Bezeichnung *Geo-Informationssystem* geeinigt (BILL 2010). Mit diesem Begriff wird auch dem Missverständnis vorgebeugt, dass die Systeme nur im Fach Geographie angewendet werden. Mit der Vorsilbe *Geo* wird ausgedrückt, dass alle raumbezogenen Disziplinen (Geographie, Geodäsie, Geologie, Geochemie usw.) die Techniken nutzen können. Die Abkürzung GIS bleibt die gleiche wie für die englische Bezeichnung. Inzwischen werden solche Informationssysteme auch für die Oberfläche anderer Himmelskörper genutzt, etwa Mars, Venus und der großen Monde von Jupiter und Saturn.

Bestandteile eines Geo-Informationssystems

Hier ist noch einmal kurz zusammengefasst, was in diesem Kontext unter einem Geo-Informationssystem verstanden wird.

- Ein Geo-Informationssystem besteht aus einer *Datenbasis* und *Werkzeugen*.
- In der Datenbasis sind *Modelle* der realen Welt gespeichert, vereinfachte Abbilder der Wirklichkeit, die mit einer bestimmten Handlungsabsicht konstruiert wurden. Zur Unterscheidung vom umgangssprachlichen Verständnis von Modellen, also einem verkleinerten Abbild eines Gegenstands (Modell-Eisenbahn, Modell-Auto), fügt man oft

noch ein Attribut hinzu, zum Beispiel *logisches Modell* oder *konzeptionelles Modell*. Das Abbild der realen Welt ist in *Objekte* unterteilt, die für Analysen und graphische Darstellungen benutzt werden. Ein Objekt ist zum Beispiel eine Bezugseinheit wie Kreis oder Gemeinde.

- Die *Werkzeuge* sind Computerprogramme, die zum Aufbau, zur Fortführung, Auswertung, Präsentation und Dokumentation der Datenbasis benötigt werden. Der Software-Hersteller legt in der Regel auch die Datenstrukturen und die Dateiformate für die Datenbasis fest. Leider sind die Software-Hersteller wenig interessiert, die Interna der Datenspeicherung zu beschreiben und damit den Datenaustausch zwischen unterschiedlichen Systemen zu erleichtern, aus nachvollziehbaren Gründen.

Nach dieser Definition sind *ArcGIS* oder andere Software-Pakete keine Geo-Informationssysteme, sondern Programmpakete, mit denen Geo-Informationssysteme aufgebaut und genutzt werden können. Die kartographischen Module in GIS-Paketen sind Instrumente zur Visualisierung von modellhaften Ausschnitten und Vereinfachungen der realen Welt, die in der Datenbasis des GIS abgebildet sind.

In Bezug auf die Erzeugung, Speicherung, Analyse und Darstellung von kartographischen Oberflächen haben in den letzten Jahren die Anbieter von GIS-Software zunehmend mehr Interpolationsalgorithmen und Darstellungstechniken bereitgestellt. Die Standard-Pakete enthalten eine Vielzahl von Werkzeugen für Routine-Anwendungen. Zwei GIS-Pakete mit großem Funktionsumfang haben weite Verbreitung gefunden und werden in diesem Text verwendet, *ArcGIS for Desktop* von ESRI und *Surfer* von Golden Software. Für besondere Anforderungen muss manchmal auf Spezialprogramme wie POV-Ray oder Konkar zurückgegriffen werden. Auch ein Blick auf kostenfreie GIS-Software wie GRASS, QGIS oder SAGA ist manchmal vorteilhaft.

Interpolation von Oberflächen aus Punkten und Polygonen

Ein Schwerpunkt des Textes ist eine Einführung in die Methoden und Techniken der Interpolation von kartographischen Oberflächen. Aus beliebig in der Bezugsebene verteilten Punkten mit einem Höhen- oder Datenwert wird eine kontinuierliche Oberfläche konstruiert. In den meisten Fällen hat die Oberfläche eine erheblich dichtere Auflösung als die ursprüngliche Punktmenge. Die Auswahl der hier behandelten Interpolationsverfahren orientiert sich im wesentlichen an den Optionen, die in im Software-Paket *ArcGIS for Desktop 10.3* (mit den Erweiterungen *3D Analyst*, *Geostatistical Analyst* und *Spatial Analyst*) und im Programm *Surfer V13* vorhanden sind.

Für die Interpolation von kontinuierlichen Oberflächen aus flächenhaften Bezugseinheiten wird die Methode der *pyknophylaktischen Interpolation* beschrieben (TOBLER 1979). Die Bezugseinheiten sind Polygone, etwa Verwaltungseinheiten wie Gemeinden oder Kreise, die mit statistischen Informationen verknüpft mit. Durch einen iterativen Algorithmus wird sichergestellt, dass das Volumen über jeder Polygon-Grundfläche während der Glättung erhalten bleibt, bis auf einen unvermeidlichen kleinen Restfehler.

Das Verfahren der *volumenerhaltenden Interpolation*, so der deutsche Begriff, wurde ursprünglich im eigenen Programm Konkar realisiert und steht jetzt auch in ArcGIS ab der Version 10.1 zur Verfügung.

Für die Repräsentation der Oberfläche nutzen die meisten kommerziellen Software-Pakete ein quadratisches oder rechteckiges Gitter mit horizontalen und vertikalen Schnittlinien parallel zu den Koordinatenachsen. Bei manchen Anwendungen ist ein Netz von unregelmäßigen Dreiecken (TIN, *triangular irregular network*) das besser geeignete Datenmodell. Die Größe der Dreiecke im Netz kann in Abhängigkeit von der lokalen Änderung in der Oberflächenhöhe (Reliefenergie) variiert werden. Alle Datenpunkte bleiben als Eckpunkte der Dreiecke unverändert erhalten. Das Dreiecksnetz kann so konfiguriert werden, dass die ursprünglichen Linien und Polygone auf den Kanten der Dreiecke liegen und damit ihre Form behalten. Im Programm Konkar kann sowohl für die Interpolation aus Punkten wie für die volumenerhaltende Interpolation ein unregelmäßiges Dreiecksnetz verwendet werden.

Visualisierung von Oberflächen

In weiteren Kapiteln werden die am häufigsten angewandten Methoden und Techniken für die Visualisierung der kartographischen Oberflächen behandelt. Darunter fallen die bewährten Techniken für planare Karten in Aufsichtsprjektion als auch perspektivische Zeichnungen, Stereogramme und reale dreidimensionale Modelle. Die letztere Technik hat mit der Entwicklung von 3D-Druckern an Aktualität gewonnen. Es ist zu erwarten, dass in absehbarer Zeit relativ preiswerte 3D-Drucker mit integriertem Farbauftrag verfügbar sein werden. Mit der Farbe als visuelle Variable ist eine wesentliche Voraussetzung für die Nutzung von 3D-Druckern für kartographische Anwendungen erfüllt, die bei den preiswerten 3D-Druckern für den Privatgebrauch fehlt.

Unterschiedliche Dauer der Innovationszyklen

Wenn neue technische Verfahren genutzt werden sollen, wie etwa der 3D-Druck, sind Spezialprogramme notwendig. Die großen Anbieter von GIS-Software sind aus wirtschaftlichen Gründen nicht in der Lage, mit dem technischen Fortschritt in der Visualisierung zeitnah Schritt zu halten. Die Innovationszyklen in der IT-Technik sind unterschiedlich lang:

- für die Hardware rechnet man etwa ein bis fünf Jahre,
- für die Software fünf bis zehn Jahre,
- beim Personal zehn bis zwanzig Jahre.

Aufgrund der unterschiedlichen zeitlichen Dauer der Zyklen lassen sich die Verzögerungen in der Realisierung von Innovationen erklären. Bis integrierte Lösungen in den Standard-Paketen zur Verfügung stehen, muss man sich mit Brücken für den Übergang zwischen spezialisierten Programmen zufrieden geben, etwa für die Konvertierung von Dateiformaten und Steuerungsanweisungen. Im Programm Konkar sind einige solcher Brücken realisiert.

Mit den vorgestellten Methoden werden aus unregelmäßig verteilten Punkten auf der 2D-Bezugsebene Oberflächen interpoliert, die durch ein regelmäßiges Gitter repräsentiert sind. In den drei Programmpaketen Surfer V13, ArcGIS (mit den drei Erweiterungen *3D Analyst*, *Geostatistical Analyst* und *Spatial Analyst*) und im eigenen Programm Konkar sind diese Verfahren in unterschiedlicher Anzahl und mit unterschiedlichen Optionen implementiert. Das Programm Surfer enthält die meisten Verfahren.

Bei einigen Methoden sind Bruchlinien (*breaklines*) und Barrieren (*faults*) möglich. Auch die Berücksichtigung von Anisotropie durch Ersatz des Suchkreises für die benachbarten Punkte durch eine Suchellipse mit schiefer Hauptachse ist vorgesehen. In Surfer und ArcGIS sind nur Rechteck-Gitter möglich, in Konkar auch Gitter aus gleichseitigen Dreiecken gleicher Größe. In Tabelle 1 sind die Produkte zusammengestellt, die für diesen Text benutzt wurden.

Die Beschränkung auf rechteckige Gitter in den kommerziellen Software-Paketen engt die Möglichkeiten der Oberflächen-Repräsentation und Visualisierung etwas ein. In ArcGIS sind die ersten Ansätze für die Nutzung von unregelmäßigen Dreiecksnetzen vorhanden, die, wie zu hoffen ist, in zukünftigen Versionen weiter ausgebaut werden. Konkar unterstützt Gitter aus regelmäßigen Rechtecken und Dreiecken und Netze aus unregelmäßigen Dreiecken (TIN).

Standard-Pakete für Geo-Informationssysteme

Dieser Text ist keine Bedienungsanleitung für GIS-Software wie ArcGIS, Surfer, Konkar und noch weitere Programme, die hier für die Demonstration der Methoden und die Abbildungen genutzt werden. Es wird vorausgesetzt, dass die Anwender mit den Standard-Paketen umgehen können. Für die Nutzung der Interpolationsmethoden werden zusätzliche Erklärungen und Empfehlungen gegeben, die die Interpolation von Oberflächen mit der genannten GIS-Software erleichtern sollen.

ArcGIS for Desktop

Wie erwähnt sind in jedem Programmpaket zum Betrieb eines Geo-Informationssystems kartographische Werkzeuge in mehr oder weniger großem Umfang und unterschiedlichen Stufen der Benutzerfreundlichkeit vorhanden. Mit dem Programmpaket ArcGIS und den zugehörigen Erweiterungen *3D Analyst*, *Spatial Analyst* und *Geostatistical Analyst* kann eine Oberfläche aus unregelmäßig verteilten Punkten interpoliert werden. Allerdings ist nur ein regelmäßiges Rechteck-Gitter als Speichermodell für Oberflächen möglich. Die Oberfläche lässt sich mit Isolinien und Isoplethen, Netz- und Profillinien oder simulierter Beleuchtung in der Aufsicht oder in perspektivischer Darstellung visualisieren.

Die Erweiterung *Geostatistical Analyst* enthält auch die gängigen Prüfverfahren, die für geologische Anwendungen unbedingt notwendig sind. ArcGIS und seine Erweiterungen stellen verschiedene Darstellungsmethoden bereit. Auf der Oberfläche können Punktsymbole, Linien oder Namen als topographische Anhaltspunkte oder weitere Informationen eingetragen werden. In den neueren Versionen von ArcGIS ist der Datentyp

Programme	Surfer V13			ArcGIS V10.3		Konkar
		Bruchl.	Barr.		Bruchl.	
Inverse Distance Weighting, z. T. mit Gradientenschätzung	•	↗	◀	•		••
Modifizierte Shepard-Interpolation, quadratisch, kubisch, Cosinus-Reihe	•					•••
Natürlicher Nachbar	•	↗	◀	•		
Radiale Basisfunktionen, mit mehreren Interpolatoren	•••	↗		•••		•
Kriging, mit mehreren Interpolatoren	••••	↗		••		
Lokale Polynome	••	↗	◀	••		
Spline-Funktionen mit Triangulation				•••	↗	••
Minimale Krümmung	•	↗	◀			
Flächenbezogene Interpolation (pyknophylaktische Interpolation)				•		•••
Interpolation auf reguläres Gitter ■ = Rechteckgitter, ▲ = Dreiecksgitter	■			■		■ ▲
Interpolation auf unregelmäßiges Dreiecksnetz (TIN)						•••
Trend-Oberfläche	••			••		•••
Kernel Density Estimation (KDE)	••			••		
Arithmetische Operationen	•••			•••		•
Charakteristika	•					
Isolinien, Isolethen	•••			•		•★
Simulierte Beleuchtung	•			•		★
Perspektivische Darstellungen	••			•		★
Stereogramme						★
3D-Modelle						•

★ mit POV-Ray

↗ Bruchlinie möglich

◀ Barriere möglich

Tabelle 1-1

Software-Produkte für GIS-Anwendungen, die für diesen Text verwendet wurden.

Geländemodell (terrain) als Erweiterung von allgemeinen Oberflächen vorhanden. Damit wird der Umgang mit Ausschnitten der Erdoberfläche erleichtert. Die Werkzeuge zur Visualisierung der Oberflächen lassen allerdings noch einige Wünsche offen.

Surfer

Das Programm *Surfer* der Firma Golden Software, zur Zeit (2015) in der Version 13, bietet ebenfalls viele Interpolationsalgorithmen, allerdings nur für Rechteck-Gitter. Die mit *Surfer* produzierten Graphiken sind besser als die Karten aus ArcGIS. Für den anspruchsvollen Kartographen bleibt immer noch Raum für Verbesserungen. Durch Export der Karten in eine passendes Dateiformat lassen sich die Graphiken mit Vektor-Zeichenprogrammen wie CorelDraw oder Adobe Illustrator weiter ergänzen, etwa mit Text oder zusätzlichen Graphiken.

Polygonbezogene Interpolation

Für spezielle Verfahren, die nicht allgemein verfügbar sind, ist manchmal ein eigenes Programm oder zumindest ein Skript notwendig. Interpolationsverfahren, die aus flächenbezogenen Daten eine kontinuierliche Oberfläche berechnen, waren bis vor kurzem in den Standard-Software-Paketen für GIS und Kartographie nicht verfügbar. Die Ausweichmöglichkeit über einen Zentralpunkt als geometrischen Stellvertreter für das Polygon hat den Nachteil, dass ein wichtiges Kriterium, die Erhaltung des Volumens über den Bezugseinheiten, nicht erfüllt wird. Beim Verfahren der *pyknophylaktischen* Interpolation ist die Volumenerhaltung ein Ziel des Rechenverfahrens (TOBLER 1979). Für die Realisierung der volumenerhaltenden Interpolation und anderer Techniken für die Interpolation und Darstellung immaterieller Oberflächen wurde das Programm *Konkar* geschrieben. Inzwischen ist in ArcGIS ab Version 10.1 ein Werkzeug für die *pyknophylaktische* Interpolation verfügbar (siehe Kapitel 8).

Qualitäts-Dreiecksnetze als Alternative zu regelmäßigen Gittern

Das Netz aus unregelmäßigen Dreiecken (*triangular irregular network*, TIN) hat bei bestimmten Fragestellungen Vorteile gegenüber dem regelmäßigen Gitter aus Rechtecken oder Dreiecken. Qualitätsnetze sind eine Erweiterung der unregelmäßigen Dreiecksnetze. Sie müssen bestimmten Kriterien genügen, etwa die minimale oder maximale Größe der Innenwinkel in den Dreiecken, die durchschnittliche oder maximale Fläche der Dreiecke, konkave Polygone für die Definition der äußeren Grenze des Untersuchungsgebietes und noch andere Bedingungen.

Das Programm *Triangle* (SHEWCHUK 1997) erzeugt ein *Qualitätsnetz*, ein Dreiecksnetz, das bestimmte Vorgaben erfüllt, unter anderen für die maximale Größe der Dreiecke und ihre Innenwinkel. Das Dreiecksnetz ist von konkaven Polygonen begrenzt, die das Untersuchungsgebiet definieren. *Triangle* kann als selbständiges Programm aufgerufen werden. Der Datenaustausch erfolgt über Textdateien. Das Programm verfügt auch über eine Programmier-Schnittstelle, die von einem anderen Programm direkt aufgerufen werden kann. Die Informationen werden in Datenstrukturen ausgetauscht. nutzt diese

Schnittstelle. Qualitätsnetze werden auch benötigt, um Eingabedateien für 3D-Drucker zu erzeugen. Die Software dieser Drucker verlangt in der Regel die Außenhaut des 3D-Modells als Dreiecksnetz für den 3D-Druck.

Brücken zwischen den Software-Paketen

Um eine gute Gesamtlösung von Interpolation und Darstellung zu erreichen, ist es manchmal notwendig, die Fähigkeiten von unterschiedlichen Programmen zu kombinieren. Zum Austausch der Daten zwischen den Teillösungen sind Brücken notwendig, die in der Regel durch Eigenprogrammierung bereitgestellt werden. Für die Verfahren und Abbildungen in diesem Text wurden solche Brücken im Programm Konkar genutzt. Mit Konkar werden auch die Dateien erzeugt, die für die Fertigung von realen Modellen von Oberflächen auf einem 3D-Farbdrucker notwendig sind.

Die vorgestellten Methoden der Interpolation von kartographischen Oberflächen in 2½D sind mit Beispielen illustriert, die zur besseren Vergleichbarkeit mit einem Test-Datensatz konstruiert wurden. Es werden aber auch kartographische Anwendungen aus der großräumigen Planung in der Bundesrepublik Deutschland gezeigt. Die Oberflächen in den Abbildungen wurden mit den Programmpaketen Surfer, ArcGIS und dem eigenen Programm Konkar interpoliert. Das Basispaket von ArcGIS allein enthält keine Funktionen für die Interpolation von unregelmäßig verteilten Punkten auf ein Rechteckgitter. Dafür sind die Erweiterungen *3D Analyst*, *Geostatistical Analyst* oder *Spatial Analyst* erforderlich.

Freie Software für GIS und Visualisierung

Visualisierung mit POV-Ray

Für einige der Abbildungen in den folgenden Kapiteln wurde das Programm POV-Ray (*Persistence of Vision Raytracer*) in der Version 3.7 verwendet. POV-Ray ist Freeware, die für private und wissenschaftliche Zwecke kostenfrei genutzt werden kann. Mit POV-Ray lassen sich Bilder in annähernd fotorealistischer Qualität erzeugen. In der perspektivischen Darstellung und die Schattenplastik mit mehreren Lichtquellen werden auch Oberflächenformen sichtbar, die in Isolinien- oder Isoplethen-Darstellung nicht zu erkennen sind. In Surfer und ArcGIS sind perspektivische Darstellung und simulierte Beleuchtung verbesserungsfähig, sowohl in Bezug auf die Qualität als auch auf die Bedienungsfreundlichkeit.

Die Dateiformate für Surfer sind gut dokumentiert, die Dateien für ArcGIS weniger gut bis überhaupt nicht. Die Werkzeugkiste (*toolbox*) von ArcGIS enthält einige Module, mit denen die proprietären Formate von ArcGIS in andere Formate oder Klartext-Dateien überführt werden können. Einige dieser Formate werden von Surfer akzeptiert oder lassen sich mit einem einfachen Konverter-Programm in POV-Ray-Dateien umsetzen.

GIS-Pakete

GRASS ist eine Paket für Geo-Informationssysteme, das kostenfrei aus dem WWW heruntergeladen werden kann. Die Software QGIS ist ebenfalls ohne Kosten nutzbar, aber die

Anzahl der Interpolationsverfahren ist sehr beschränkt. QGIS enthält Brücken zu GRASS und dem Paket SAGA. In SAGA sind viele Interpolationsverfahren verfügbar, die auch in ArcGIS und Surfer vorhanden sind. QGIS und SAGA stellen einige Software-Werkzeuge bereit, die für die Oberflächen-Analyse genutzt werden können (Links in Kapitel 23).

Literatur

ArcGIS 10.3 Help, ArcGIS Resources

<http://resources.arcgis.com/en/help/> (11/2013)

BILL R (2010) Grundlagen der Geo-Informationssysteme. 5., völlig neu bearbeitete Auflage. Wichmann, Offenbach

CHRISMAN N (2006) Charting the unknown: How computer mapping at Harvard became GIS. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA Kurzfassung:

http://www.cs.duke.edu/brd/Historical/hlccg/HarvardBLAD_screen.pdf (9/2014)

GI GEOINFORMATIK (2015) ArcGIS 10.3: Das deutschsprachige Handbuch für ArcGIS for Desktop mit allen Funktionen von ArcGIS online für Desktopanwender. Wichmann-Verlag

PEUCKER TK, TICHENOR M, RASE WD (1972) Die Automatisierung der Methode der schrägen Schnittflächen. Kartographische Nachrichten, 22. Jahrgang, Heft 4, August 1972, 143–148

<http://www.wdrase.de/SchraegeSchnittflaechen-KN41972.pdf> (1/2015)

RASE WD, PEUCKER TK (1971) Erfahrungen mit einem Computerprogramm zur Herstellung thematischer Karten. Kartographische Nachrichten, Heft 2, 1971, 50–57

<http://www.wdrase.de/Symap-KN21971.pdf> (10/2015)

SHEWCHUK JR (1996) Triangle: Engineering a 2D quality mesh generator and Delaunay triangulator. In: MING, MANOCHA (ed.) Applied Computational Geometry: Towards Geometric Engineering. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 1148, Springer, Berlin, 203–222

<http://www.cs.cmu.edu/~quake/triangle.html> (11/2015)

Surfer® User's Guide (2014) Contouring and 3D surface mapping for scientists and engineers. Golden Software, Inc., Golden, CO, USA

TOBLER WR (1979) Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions. Journal of the American Statistical Association, Vol. 74, No. 357, 519–535

2

2 Kartographische Oberflächen

Ein Bild sagt mehr als tausend Worte: der Wert einer Graphik als Komplement zur verbalen und tabellarischen Darstellung eines Sachverhalts ist unbestritten. Eine Karte sagt mehr als eine Million Worte: es gibt kein besseres Medium, wenn Informationen und Prozesse präsentiert werden sollen, die über einen Ausschnitt der Erdoberfläche verteilt sind. Bis vor einigen Jahren war die Erstellung von Karten aufgrund des hohen Anteils von personalintensiver Zeichenarbeit relativ kostspielig. Die Anfertigung von Karten war deshalb vorwiegend der Dokumentation des Endergebnisses vorbehalten. Durch die Entwicklung und Verbreitung von Software für Geo-Informationssysteme, die daraus resultierende Verfügbarkeit von kartographischen Programmen und die fortschreitende Kostensenkung in der Computertechnik sind viele wirtschaftliche Hürden gefallen, die in der Vergangenheit die Nutzung von Karten eingeschränkt oder verhindert haben.

Karten sind ein unverzichtbares Werkzeug zur Analyse, Dokumentation und Präsentation von räumlich verteilten Strukturen und Vorgängen in allen raumbezogenen Forschungsdisziplinen, in Wirtschaft, Politik und Verwaltung. Die Nutzung von Karten für die räumliche Analyse und für raumbezogenes Handeln scheint so selbstverständlich, dass man sich kaum noch Gedanken zur Funktion einer Karte und ihren Vorteilen gegenüber der rein verbalen oder tabellarischen Darstellung macht. Es kann nicht schaden, sich ab und zu die Grundfunktionen von Karten ins Gedächtnis zu rufen, um den Status der Nutzung zu überprüfen und Weichen für die Weiterentwicklung zu stellen.

Funktionen von Karten

Karten sind ein Mittel der Kommunikation, ein Medium zur Übermittlung von Informationen von einem Sender zu einem Empfänger. Für den Entwurf von Karten, ihre Rezeption und die Wahrnehmung der graphischen Zeichen, mit denen die Information kodiert wird, sind bestimmte Regeln zu beachten. BERTIN hat 1967 ein leicht merkbares System der visuellen oder graphischen Zeichen für die kartographische Kommunikation entwickelt. Die deutsche Übersetzung und eine kürzere Fassung folgten einige Jahre später (BERTIN 1974, BERTIN & SCHARFE 1982).

Aufbauend auf Erkenntnissen aus der Kommunikationstheorie, Wahrnehmungspsychologie und Zeichentheorie hat FREITAG (1991) folgende allgemeine Modellfunktionen für Karten definiert:

- Erkenntnis (Beispiel: Karten für die Wissenschaft),
- Demonstration und Erklärung (Karten für die Schule),
- Variation und Optimierung (Karten für die Planung)
- Prüfung und Verifikation (Aufnahmekarten),
- Projektierung und Konstruktion (Baupläne),
- Steuerung (Navigationskarten),

dazu die Ersatzfunktion als Reliefkarte.

Die verschiedenen Modellfunktionen sind in bestimmten Kartentypen besonders stark ausgeprägt. Schon bei oberflächlicher Betrachtung sind die Funktionen der Steuerung, der Projektierung und Konstruktion und der Prüfung und Verifikation weniger wichtig für die Karten, die in der räumlichen Analyse und Raumplanung eingesetzt werden. Die Funktionen der Erkenntnis, der Demonstration und Erklärung und der Variation und Optimierung sind vorherrschend in Planungskarten.

Anwendung von kartographischen Oberflächen

Die kartographischen Darstellungsformen, die man häufig in den Publikationen zu Raumordnung, Landesplanung, Regionalanalyse und verwandten Arbeitsgebieten findet, sind *Choroplethen-Karten* und Karten mit *Proportionalsymbolen*. Die Repräsentation von geordneten Reihen und Typen durch Ausfüllen der Flächen mit einer Farbe oder Flächensignatur ist die geeignete Darstellung, wenn die Variablen für die Flächen erfasst wurden. Das gilt auch, wenn sich der aus der Analyse abgeleitete Handlungsbedarf auf die dargestellten Einheiten bezieht.

Choroplethen-Karten sind auch für weniger erfahrene Betrachter gut lesbar, weil die quantitative Information auf eine überschaubare Anzahl von Klassen oder Typen reduziert ist. Auch deshalb werden Choroplethen-Karten mit zunehmender Häufigkeit in den Medien genutzt, um einen räumlich verteilten Sachverhalt zu erklären. Die technische Realisierung wird erleichtert durch die Verfügbarkeit von spezialisierten Computerprogrammen. Leider werden diese Programme nicht immer mit der notwendigen Sachkenntnis für die Nutzung der visuellen Variablen genutzt.

Die Daten, die in einer Choroplethen-Karte als Flächensignatur repräsentiert werden, sind in der Regel relative Größen. Die absoluten Werte, zum Beispiel die Einwohner einer Bezugseinheit, werden durch eine Bezugsgröße dividiert, zum Beispiel die Fläche des einschließenden Polygons. Das Ergebnis ist in diesem Fall die relative Größe *Bevölkerungsdichte*. Durch die Normierung mit Bezugswerten sollen die Größenunterschiede der Bezugseinheiten ausgeglichen und der interregionale Vergleich erleichtert werden. Das Ziel ist die Aufdeckung und Visualisierung von Disparitäten in der räumlichen Verteilung der Lebensgrundlagen.

Choroplethen-Karten und Karten mit Proportionalsymbolen sind nicht immer das optimale Werkzeug für die Analyse der Raumstruktur und zur Visualisierung von Grundlagen und Konzepten für die großräumige Planung. Die Darstellung als Oberfläche kann ein geeignetes Komplement zu den Choroplethen-Karten und Karten mit Proportionalsymbolen sein. Dafür gibt es mehrere Gründe, die sich aus dem Untersuchungsgegenstand und dem Verwendungszweck der Karte ergeben:

- Kontinuierliche Sachverhalte,
- Verknüpfung von naturräumlichen und sozioökonomischen Variablen in einem Indikator,
- Absolutwert in flächenbezogener Darstellung,
- Trend-Oberflächen,
- Unscharfe Objekte,
- Synthese und Generalisierung,
- Darstellung gleitender Übergänge

Kontinuierliche Sachverhalte

Der Sachverhalt ist von Natur aus kontinuierlich. Die meisten geophysikalischen Variablen, zum Beispiel Luftdruck, Lufttemperatur, Stärke oder Richtung des Erdmagnetfeldes fallen in diese Kategorie. Bei zunehmend kleinerem Maßstab und der für die großräumige Analyse adäquaten Körnigkeit wachsen diskrete Verteilungen so zusammen, dass sie als kontinuierliche Phänomene erscheinen (FREITAG 1971). Das Modell, mit dem ein Sachverhalt berechnet wird, ist kontinuierlich oder zumindest so feinkörnig, dass es als kontinuierlich aufgefasst werden kann. Ein Beispiel dafür sind Zeitentfernungen und Erreichbarkeitswerte im Individual-Fernverkehr. Das Straßennetz in der Bundesrepublik Deutschland ist aus der Betrachtungshöhe der Bundesregierung so fein gegliedert, dass eine quasi-kontinuierliche Oberfläche der Erreichbarkeit angenommen werden kann.

Die abrupten Übergänge, die zwischen zwei benachbarten Bezugseinheiten auf einer Choroplethenkarte auftreten können, werden in erster Linie durch die Art der Datenerhebung und die Darstellung verursacht und geben nicht das tatsächliche Bild der Verteilung wieder. Die Bevölkerung eines Kreises ist zum Beispiel nicht homogen über die Fläche verteilt, wie es die Choroplethenkarte der Bevölkerungsdichte einem naiven Kartennutzer suggerieren könnte. Eine solche Verteilung ist gut als Oberfläche modellierbar und darstellbar.

Verknüpfung von naturräumlichen und sozio-ökonomischen Variablen

Für die Beschreibung eines bestimmten Zustandes oder Prozesses im Raum wird ein Indikator durch Verknüpfung von naturräumlichen Komponenten und sozio-ökonomischen Variablen gebildet. In den meisten Fällen stimmen die Grenzen von naturräumlichen Einheiten und Verbreitungen nur selten mit den administrativen Grenzen überein. Die bisher übliche Darstellung als Teil- oder Schnittmengen in den administrativen Einheiten einer Choroplethenkarte wird der Verteilung des Indikators im Raum nicht gerecht.

Die starken Sprünge an den Grenzen der Gebietseinheiten entsprechen nicht der tatsächlichen Verteilung auf der Bezugsfläche. Die Darstellung als Oberfläche repräsentiert den Indikator besser als eine Choroplethenkarte.

Absolutwert in flächenbezogener Darstellung

In der Karte soll der Flächenbezug, aber auch die absoluten Unterschiede im Wert des Indikators deutlich sichtbar gemacht werden. Eine Möglichkeit ist zum Beispiel die perspektivische Darstellung einer Choroplethen-Karte mit höhenproportionalen Prismen mit der Bezugsfläche als Grundfläche, eine andere Möglichkeit eine stetige Oberfläche mit Erhaltung des Volumens in jeder Bezugseinheit.

Trend-Oberflächen

Aus den Ausgangswerten wird eine kontinuierliche Funktion über die Dimensionen der Bezugsebene berechnet. Häufig werden zweidimensionale Polynome benutzt, die nach dem Kriterium der kleinsten Quadrate die Werte an den Stützpunkten approximieren. Durch die Modellierung als kontinuierliche Funktion sollen Ungenauigkeiten von Messwerten in den Ausgangswerten ausgeglichen oder ein genereller Trend in der Verteilung über die Erdoberfläche sichtbar gemacht werden.

Unschärfe Objekte

Wirtschaftsregionen, Planungsräume, Entwicklungsachsen und -zonen sind in der Regel nicht durch exakt definierbare Linien abgegrenzt. Zum einen ist die tatsächliche Verbreitung von räumlichen Phänomenen selten an innerstaatlichen administrativen Grenzen orientiert. Die in thematischen Karten dargestellte sozioökonomische Situation ist somit ein bereits abstrahiertes Abbild der Wirklichkeit, unter anderem, weil die amtliche Statistik auf das administrative Bezugssystem angewiesen ist. Planungskonzepte, also normative Zielvorstellungen für die räumliche Situation in der Zukunft, enthalten viele Unwägbarkeiten, sowohl zur sachlichen Ausrichtung als auch zur räumlichen Verbreitung. Die Orientierung an den vorhandenen Grenzen ist weder sinnvoll noch wünschenswert, umso mehr, wenn sich die Konzepte über Länder mit unterschiedlichen Wirtschafts- und Gesellschaftsstrukturen, anderen Paradigmen und Organisationsformen für die räumliche Planung erstrecken.

Die Regionsgrenzen sind nicht als Barrieren mit unmissverständlichem Hier und Dort aufzufassen, sondern sind ein Übergangsband, ein unterschiedlich breites *sowohl als auch*. Kleinräumige Übergangszonen sind zum Beispiel die nicht genau fassbare natürliche Grenze zwischen Wald und Wiese oder der Spülsaum zwischen Land und Meer. Bei der Operationalisierung von Übergangszonen stößt man sehr schnell an die Grenzen der heute verfügbaren Werkzeuge für die Verknüpfung und Visualisierung von raumbezogenen Informationen. Der übliche Weg der Synthese von Planungskonzepten aus dem *status quo* und den Visionen zu einem zukünftigen Zustand ist die Nutzung der Fähigkeit des menschlichen Auge-Gehirn-Systems zur Mustererkennung und Generalisierung. Diese Fähigkeit sollte man nicht gering schätzen, sie hat aber den Nachteil, über weite Strecken

nicht nachvollziehbar und kommunizierbar zu sein. Das ist ein wichtiger Gesichtspunkt für großräumige Planungskonzepte, die in fast allen Fällen iterativ unter Beteiligung von vielen Personen und Institutionen erarbeitet werden.

Synthese und Generalisierung

Eine Lösung des Kommunikationsproblems in Planungskarten ist die Verwendung einer allgemeinverständlichen graphischen Sprache oder eines graphischen Zeichensystems. Die Zwischen- und Endergebnisse der Synthese werden als Bild oder Karte vermittelt, die möglichst intuitiv verstanden wird, ohne die Notwendigkeit von ausführlichen Erklärungen oder Legenden. Dieser Weg hat sich zum Beispiel im multilingualen europäischen Umfeld als besser geeignet erwiesen als die Kommunikation über die rein verbale Ebene, aus für Geographen und Kartographen eigentlich selbstverständlichen Gründen.

Für die technische Realisierung der Kartographik wird heute das elektronische Pendant des Kartenzeichners in Form von kartographischen und graphischen Programmen benutzt, bei Bedarf ergänzt durch CAD-Software oder Freihand-Zeichenprogramme. Einige Beispiele für diese Vorgehensweise sind dokumentiert in der Veröffentlichung über die Trendszenarien der Raumentwicklung in Deutschland und Europa (BfLR 1995).

Die Synthese und die dabei ablaufenden Generalisierungsprozesse sind damit aber noch nicht so beschrieben, dass sie nachvollziehbar und nachprüfbar werden. Der nächste Schritt wäre die Erstellung eines Arbeitsplanes, in dem festgelegt ist, was bis jetzt mehr oder weniger intuitiv im Auge-Gehirn-System des Menschen abläuft. Der Arbeitsplan ist die Grundlage für einen Algorithmus und nachfolgend das Computerprogramm, das die Generalisierung und Synthese durchführt.

Darstellung gleitender Übergänge

Mit dem logischen Konzept der Karten-Algebra ist das Problem der gleitenden Übergänge an den Grenzen von Verbreitungsgebieten nicht zu lösen. Die Operationen, mit denen *fuzzy sets* miteinander verknüpft werden, lassen sich zwar gut definieren. Die verfügbaren GIS-Pakete haben aber keine direkte Möglichkeit, *fuzzy objects*, also Objekte mit unscharfen Rändern, Übergangszonen oder abgestuften Übergangswahrscheinlichkeiten, wie immer man das nennen mag, zu definieren und zu speichern. Man behilft sich zum Beispiel damit, den Objekten durch eine geometrische Vergrößerung (*buffering*) eine Einflusszone mit abgestufter Wahrscheinlichkeit zuzuordnen. Die Zone ist aber gleichmäßig mit dem Wert belegt. Eine abgestufte Zone muss man durch eine Kaskadierung, also eine Reihung mehrerer Zonen mit abnehmenden Werten, erzeugen.

Ein anderer Weg ist die Abbildung des flächenhaften Objekts als Gitter von Höhenwerten und die Zuordnung von abgestuften Intensitäten an jedem Gitterpunkt in Abhängigkeit von seiner Lage im Herkunftsobjekt. Die Gitterpunkte näher am Rand erhalten niedrigere Werte als die Punkte in der Mitte der Fläche. Sind die Objekte oder Bezugseinheiten flächendeckend über die Ebene verteilt, kann man die Gitterpunkte oder -zellen als Stützpunkte einer Oberfläche auffassen. Die Rückführung der Punkte auf die Ebene

der Bezugseinheiten ist unter Umständen schwierig oder unmöglich. Das Konzept erfordert die Beschäftigung mit der Modellierung und Darstellung von Oberflächen, allein schon aus dem Grund, die Verknüpfungsoperationen und ihre Ergebnisse zu überprüfen und den Gang des Verfahrens zu verfolgen.

Die beiden Möglichkeiten für die Definition eines unscharfen Objekts stehen für zwei grundsätzliche Vorgehensweisen, die man bei der Modellierung und Verknüpfung von Objekten nutzen kann. Die Pufferbildung ist *vektororientiert*: die Fläche ist durch die Vektoren (Punkte und Strecken) der Umrisslinie definiert, der Puffer wird als parallele Linie dazu berechnet. Die Oberfläche dagegen ist *gitterorientiert*: sie besteht aus vielen Punkten oder Facetten, die in einem regelmäßigen Gitter angeordnet sind. Gitterorientierte Operationen sind leichter zu realisieren, unter anderem, weil alle Programmiersprachen die Sprachelemente für die Behandlung von rechteckigen Gittern enthalten. Mit gitterorientierten Systemen, verwendet etwa in den Programmpaketen ArcGIS und Surfer, lassen sich die grundsätzlichen Fähigkeiten von Geo-Informationssystemen für die räumliche Modellbildung sehr einfach demonstrieren.

Kontinuierliche Oberflächen ohne Interpolation

Wenn sehr viele Daten- oder Messpunkte unregelmäßig in der Ebene verteilt sind, ist das menschliche Gehirn oft überfordert, Muster in der Verteilung zu erkennen. Die Visualisierung der Muster in Karten kann Aufschlüsse über die zugrunde liegenden Vorgänge liefern. Wenn die Datenpunkte dazu noch qualitative und quantitative Merkmale tragen, ist die einfache Repräsentation der Punkte durch ein Symbol in der Ebene wenig aufschlussreich, ebenso wie eine Oberfläche, die durch die Punkte geht. Es muss ein Verfahren angewendet werden, das die Punktverteilung und die Merkmale in einem anschaulichen Bild generalisiert. Ein direkter Bezug zu den Punktdaten wie bei einer interpolierten Oberfläche ist meistens nicht mehr herzustellen. Das Bild soll einen Sachverhalt oder eine mathematisches Modell so visualisieren, dass die Karte intuitiv erfassbar ist.

Eine Methode ist die Kerndichte-Schätzung (*kernel density estimation*, KDE). Die Verfahren der KDE ergeben eine kontinuierliche Oberfläche, die nicht mit einer interpolierten Oberfläche verwechselt werden darf. Auch die Vermittlung von Planungskonzepten erfordert neue Darstellungsmethoden, die mehr im Bereich des Graphik-Designs angesiedelt und den traditionellen kartographischen Darstellungsformen nur entfernt ähnlich sind (RASE & SINZ 1993).

Der *Atlas der politischen Landschaften* der Schweiz (HERMANN & LEUTHOLD 2003) war eine der ersten Publikationen, die mit innovativen Techniken der Visualisierung von sozialräumlichen Zusammenhängen größere Aufmerksamkeit in den Medien erfuhren, zumindest in der Schweiz. Die Techniken der Visualisierung von räumlichen Zusammenhängen über die traditionellen Methoden hinaus wurden als *Geodesign* bezeichnet, mit einem etwas ironischen Unterton. Inzwischen sind die erweiterten Möglichkeiten der Visualisierung in der wissenschaftlichen Gemeinschaft und auch von Kartographen und Raumplanern akzeptiert (ANDRIENKO und ANDRIENKO 2005, HERMANN 2009).

Visualisierung

Ein wichtiger Aspekt ist die graphische Darstellung der Oberflächen, einmal zur Überprüfung und Beurteilung der Interpolationsmethoden, aber auch für die Vermittlung der Ergebnisse an Raumwissenschaftler und Entscheidungsträger in der Raumplanung und Politik. In der Computergraphik wurden fortgeschrittene Techniken zur Visualisierung von dreidimensionalen Körpern und damit auch Oberflächen entwickelt. Sie gehen über die traditionellen Darstellungsformen als zweidimensionalen Karten in Aufsichtsprjektion und die Medien Papier und Bildschirm hinaus. Dazu gehören zum Beispiel perspektivische Ansichten, Techniken für die Erzeugung und Betrachtung von Stereogrammen, computergenerierte Animationen und reale Oberflächen-Modelle mit Farbtextur, die mit 3D-Druckern gefertigt werden und die man anfassen kann (RASE 2010).

Modell und Darstellung

Ein wichtiges Ergebnis der Anwendung von Geo-Informationssystemen ist die Erkenntnis, dass die Modelle der realen Welt und ihre Darstellung in Karten logisch voneinander getrennt werden müssen. Die Karten in der traditionellen Form, insbesondere die amtlichen topographischen Karten, erfüllten beide Funktionen in einem Medium. Sie dienten als Datenspeicher für das abstrahierte Bild der realen Landschaft (Modell) und gleichzeitig als Visualisierungsmedium für dieses Modell. Die topographischen Karten sind ein Kompromiss zwischen der durch das Medium und die Visualisierung eingeschränkten Speicherkapazität einerseits und der Lesbarkeit und Orientierung auf eine möglichst breite Zielgruppe andererseits. Der letztere Punkt ist nicht unwichtig, weil sich die hohen Kosten der Herstellung durch eine hohe verkaufte Auflage amortisieren müssen.

Mit der Möglichkeit, das Modell der Landschaft in einem Geo-Informationssystem abzubilden, wurde die Speicherungsfunktion der Karte auf die elektronischen Medien übertragen. Modell und graphische Darstellung sind nicht mehr untrennbar verbunden wie in den topographischen Karten im traditionellen Verständnis. Das in Dateien gespeicherte Modell kann mehr Informationen enthalten als die Karte, mit der ein Teil des Modells sichtbar gemacht wird. Eine weitere Folge der Trennung von Modell und Darstellung ist die Möglichkeit, die Kartengraphik individuell dem Verwendungszweck und der Zielgruppe der Karte anzupassen. Die gedruckte Karte ist auch nicht mehr das alleinige Medium der Verbreitung (GANSER 1974). Sowohl das Modell als auch seine kartographische Repräsentation können dem Nutzer als Dateien über Datenträger oder Kommunikationseinrichtungen zugänglich gemacht werden.

Beim Aufbau der flächendeckenden Systeme für Basis-Geoinformationen wurden diese Erkenntnisse berücksichtigt. Mit ATKIS (Automatisiertes Topographisch-Kartographisches Informationssystem) wurde die Trennung in das Digitale Landschaftsmodell (DLM) und das Digitale Kartographische Modell (DKM) eingeführt. Vereinfacht formuliert dient das DLM als Anweisung für die Erfassung und Speicherung der Landschaft und der Landmarken und das DKM als Anweisung für die Umsetzung des Modells in eine Karte.

Die Notwendigkeit der Trennung von Modell und Darstellung wird nicht immer mit der notwendigen Deutlichkeit erkannt. Zum Beispiel beschreibt MISCHE (1995) ein Verfahren, um Unstetigkeiten auf der Erdoberfläche, etwa Geländekanten, in einer Isolinienkarte zu erhalten. Bei näherem Hinsehen erkennt man, dass der Autor sich auf die Kanten im Modell bezieht, das mit Isolinien dargestellt wird. Nicht die Isolinien sind fehlerhaft interpoliert, sondern das Modell der Oberfläche ist falsch erfasst und gespeichert.

Einheit von Modell und Darstellung

Die gedankliche Trennung von Modell und Darstellung bedeutet aber nicht, dass beide Felder unabhängig voneinander behandelt werden müssen. Adäquate Darstellungstechniken sind unbedingt notwendig, um die Qualität der interpolierten Oberfläche und damit die Eignung des Interpolationsverfahrens beurteilen zu können. Die visuelle Inspektion ist oft die einzige Möglichkeit zur Begutachtung. „Objektive“, weil nachvollziehbare Bewertungsverfahren sind nur in speziellen Fällen einsetzbar.

Immaterielle Oberflächen

Zur Unterscheidung von der Erdoberfläche werden die schon erwähnten „gedachten“ Oberflächen, die als gedankliches Modell aus einer diskreten Verteilung von Variablenwerten konstruiert sind, im folgenden *immaterielle*, *virtuelle* oder *konzeptionelle Oberflächen* genannt. Als virtuelle Oberflächen könnte man auch physikalische Kontinua wie Luftdruck oder Luftfeuchte ansehen. Anders als die Oberflächen aus sozioökonomischen oder demographischen Variablen und Indikatoren sind die physikalischen Kontinua real vorhanden, wenn auch nicht direkt sichtbar und greifbar wie die Erdoberfläche.

Oberflächendarstellungen und Choroplethenkarten

Nach den bisherigen Ausführungen ist die Oberflächendarstellung die adäquate Visualisierung für kontinuierliche Modelle, etwa für geophysikalische Daten auf der Erdoberfläche. Sind Diskreta ausreichend feinkörnig, können sie als Oberfläche modelliert und dargestellt werden. Dazu gehören sowohl punktbezogene Informationen, etwa Zeitentfernungen, als auch flächenbezogene Werte, etwa demographische und sozioökonomische Variablen und Indikatoren aus der amtlichen Statistik.

Die Oberfläche und ihre Visualisierung sollte ein Komplement zu den gewohnten Darstellungsformen in Planungskarten gesehen werden. Die Modellierung und Darstellung als Oberfläche wird auch in manchen Fällen bewusst der Choroplethenkarte vorgezogen, um den direkten Bezug auf administrative Grenzen zu vermeiden.

Probleme der Anwendung

Bei der Evaluierung von Softwarepaketen für die Modellierung und Darstellung von Oberflächen und des Einsatzes von Oberflächendarstellungen in der Regionalanalyse und Planung kann man folgende Probleme erkennen:

- **Ausrichtung auf DGM:** Die allgemein verfügbaren Software-Systeme für GIS und Kartographie enthalten vorwiegend Modelle und Darstellungsformen, die sich auf die Erdoberfläche beziehen (Digitale Geländemodelle, DGM).
- **Punktbezogene Interpolationsverfahren:** Die GIS-Pakete enthalten meist nur Verfahren für die Interpolation von Punkten auf Rechteck-Gitter. Das schränkt die Verwendung von flächenhaften Objekten als Ausgangsdaten stark ein oder führt zu missverständlichen Ergebnissen und falschen Schlussfolgerungen aus den Karten.
- **Unzureichende Erklärung und Dokumentation:** Die Modelle und Interpolationsverfahren sind in den Anwender-Handbüchern oft nur unzureichend beschrieben. Der Anwender hat keine Informationen über die Art des Verfahrens und seine spezifischen Stärken und Schwächen für seinen Anwendungsfall.
- **Unkenntnis der Regeln der Graphischen Semiologie:** Das Wissen über die Regeln der Graphischen Semiologie ist nicht so weit verbreitet, dass immer die geeignete Darstellungsform gewählt wird, auch bei Choroplethen- und Symbol-Karten.
- **Unsachgemäße Anwendung:** Die leichte Verfügbarkeit der Oberflächendarstellung einerseits und die unzureichende Information über die Verfahren führt zu unkritischer und falscher Anwendung dieser Darstellungsform.
- **Beschränktes Angebot an Darstellungstechniken:** In den gängigen Softwarepaketen sind nur die traditionellen Darstellungsverfahren verfügbar, zum Beispiel die Visualisierung mit Isolinien und Isoplethen.

Der Grund für die starke Orientierung der GIS-Pakete auf die Erdoberfläche und punktbezogene Modellierungsverfahren ist vor allem das wirtschaftliche Interesse im Wechselspiel von Angebot und Nachfrage. Die Software-Anbieter realisieren vorrangig in ihren Paketen die Verfahren, die für einen möglichst großen Kundenkreis von Interesse sind. Auf der anderen Seite nutzen die Anwender aus Mangel an Alternativen nur die Verfahren, die in den Standard-Programmpaketen angeboten werden.

Einige Problemfelder, so interessant und wichtig sie auch sind, können in diesem Text nicht in allen Aspekten berücksichtigt werden. So sind viele der untersuchten Methoden und Techniken auf alle Kontinua auf der Bezugsebene des Geoids oder sogar ganz allgemein auf alle Funktionen mit zwei unabhängigen Variablen anwendbar. Die Erdoberfläche hat eine Reihe von Charakteristika, die bei der Modellierung und Darstellung beachtet werden müssen, die aber für immaterielle Oberflächen weniger wichtig sind. Für die praktischen Fragen der Darstellung der Erdoberfläche sei auf die Arbeit von BÄR (1996) hingewiesen, die sich speziell mit Geländemodellen und den dafür geeigneten computergestützten Werkzeugen für die Modellierung und Visualisierung beschäftigt.

Literatur

ANDRIENKO N, ANDRIENKO G (2005) Exploratory analysis of spatial and temporal data. A systematic approach. Springer, Berlin

- BÄR HR (1996) Interaktive Bearbeitung von Geländeoberflächen. Konzepte, Methoden, Versuche. Geoprocessing-Reihe Vol. 25, Geographisches Institut, Universität Zürich
- BERTIN, J (1967) *Sémiologie Graphique*. Mouton, Paris
- BERTIN J (1974) *Graphische Semiologie. Diagramme, Netze, Karten*. de Gruyter, Berlin
- BERTIN J, SCHARFE W (Bearb.) (1982) *Graphische Darstellungen und die graphische Weiterverarbeitung der Information*. de Gruyter, Berlin
- BfLR (1995) *Trendszenarien der Raumentwicklung in Deutschland und Europa. Beiträge zu einem Europäischen Raumentwicklungskonzept*. Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Bonn
- FREITAG U (1971) *Semiotik und Kartographie. Über die Anwendung kybernetischer Disziplinen in der theoretischen Kartographie*. *Kartographische Nachrichten*, Heft 3, 171
- FREITAG U (1991) *Theoretische Aspekte der Kommunikation mit Planungskarten*. In: MOLL (Hrsg.), *Aufgabe und Gestaltung von Planungskarten*. Forschungs- und Sitzungsberichte Nr. 185, Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover 1991, 20-29
- GANSER K (1974) *Die Aufgabe der Karte im Informationssystem Raumentwicklung*. *Kartographische Nachrichten*, 24. Jahrgang 1974, 169-173
- HERMANN M, LEUTHOLD H (2003) *Atlas der politischen Landschaften. Ein weltanschauliches Porträt der Schweiz*. vdf Hochschulverlag, Zürich
- HERMANN M (2009) *Kartographie sozialräumlicher Zusammenhänge. Informationen zur Raumentwicklung*, H. 10/11.2009, 701-709
- MISCHKE A (1995) *Die kartographische Darstellung von Isolinien an Unstetigkeitsstellen*. *Kartographische Nachrichten*, 45. Jahrgang, Heft 5, Oktober 1995, 182-186
- RASE WD (2010) *Karten aus dem 3D-Drucker*. *Kartographische Nachrichten*, Jahrgang 60, Heft 1, Februar 2010, 38-41
<http://www.wdrase.de/RaselzR10112009.pdf> (10/2015)
- RASE WD, SINZ, M (1993) *Kartographische Visualisierung von Planungskonzepten*. *Kartographische Nachrichten*, Heft 3/4, August 1993, 139-145
<http://www.wdrase.de/KartoVisuali-KN41993.pdf> (10/2015)