

Kartogramme zur Visualisierung geographie-bezogener Daten

Christian Panse

Functional Genomics Center - Uni | ETH Zürich
Winterthurerstr. 190, UNI Irchel Y32 H66
CH-8057 Zürich, Schweiz
cp@fgcz.ethz.ch

Abstract: Kartogramme stellen ein wichtiges Werkzeug zur Visualisierung und Analyse geographie-bezogener Daten dar. Sie ermöglichen eine korrekte Darstellung und dadurch das Verständnis von z.Bsp. statistischen Daten, Telefonvolumina und Wählerverhalten bzgl. ihrer geographischen Position. Der Hauptbeitrag der Dissertation besteht darin, daß zwei völlig neuartige Algorithmen zur Berechnung von Kartogrammen entwickelt wurden. Der erste Algorithmus wurde mit CartoDraw bezeichnet. Der Vorteil von CartoDraw besteht darin, daß die Topologie und Form der Ausgangskarte erhalten wird, was das intuitive Wiedererkennen von Kartenregionen ermöglicht. Bei dem zweiten in dieser Arbeit vorgestellten Algorithmus, RecMap, wird hingegen jede Kartenregion durch ein Rechteck ersetzt. Dadurch geht die ursprüngliche Form der einzelnen Kartenregionen verloren, der Flächenfehler kann aber restlos beseitigt werden. Beide Algorithmen wurden implementiert. Im Vergleich zu existierenden Kartogramm-Methoden, sind bei einer drastischen Minimierung der Rechenzeit die Flächenfehler von CartoDraw und RecMap ähnlich oder kleiner. Anhand von Beispielen wird in dieser Arbeit weiterhin die Vielfalt der möglichen Applikationen vorgestellt. Je nach Zielstellung kann der Benutzer zwischen CartoDraw, RecMap oder einer daraus abgeleiteten Variante wählen.

1 Einleitung

Die Wissenschaft und Kunst, Karten zu erstellen ist so alt wie die Menschheit. Erste einfache Landkarten datieren bis in die Steinzeit zurück. Die Kartographie ist von immenser Bedeutung für die Entwicklung der Menschheit gewesen, Karten stellen ein grundlegendes Werkzeug für die Entdeckung der Erde und des Weltalls dar.

Neben diesen traditionellen Karten, die bedeutsam für die Navigation sind, existieren sogenannte Kartogramme. Dies sind abstrakte Karten, die neben der geographischen noch zusätzliche Informationen visualisieren, z.Bsp. statistische Werte. Das ist von großer Bedeutung: Bei traditionellen Karten entsprechen die Flächen der Regionen der geographischen Fläche. Diese stehen jedoch in keinerlei Zusammenhang mit regionen-verknüpften statistischen Werten, z.Bsp. bei der Darstellung von Bevölkerungszahlen. Sehr große Gebiete können sehr kleine statistische Werte haben und umgekehrt, z.Bsp. niedrige oder

hohe Bevölkerungsdaten. Bei einem Kartogramm werden die Flächen entsprechend den statistischen Werten verzerrt, d.h. für das Beispiel eines Bevölkerungskartogramms, daß dünn besiedelte Gebiete sehr klein werden und dicht besiedelte Gebiete sehr groß. Dadurch werden Fehlinterpretationen vermieden und das Verständnis erleichtert. Um Kartogramme effektiv, d.h. leicht verständlich zu gestalten, ist es essentiell, daß der Mensch die dargestellten Daten leicht verstehen kann und mit den ursprünglichen geographischen Daten in Verbindung bringen kann. Dieses Verständnis ist wiederum abhängig davon, daß die ursprüngliche Form, die Lage der einzelnen Gebiete zueinander sowie der Zusammenhang der Gebiete möglichst gut erhalten wird. Im allgemeinen Fall ist dieses Problem nicht lösbar, was zu Beginn der Arbeit [Pan05] gezeigt wird. Aufgrund der Überlegung, daß das Problem vermutlich nicht in Polynomialzeit lösbar ist, wird es in dieser Arbeit als Optimierungsproblem behandelt.

Der Hauptbeitrag der Dissertation besteht darin, daß zwei neuartige Algorithmen zur Berechnung von Kartogrammen entwickelt wurden. Der erste Algorithmus wurde CartoDraw genannt. Der Vorteil dieses Algorithmus liegt darin, daß die Topologie und Form der Ausgangskarte erhalten wird. Dabei wird versucht, den Flächenfehler, d.h. die Abweichung der Flächen des Kartogramms von den statistischen Werten entsprechenden Flächen, zu minimieren. Naturgemäß kann der Flächenfehler nicht restlos beseitigt werden. Diesen Nachteil umgeht der zweite in dieser Arbeit vorgestellte Algorithmus mit der Bezeichnung RecMap. Dabei wird jede Kartenregion durch ein Rechteck fester Größe ersetzt, dadurch wird ein Flächenfehler vollständig vermieden, jedoch mit Verlust der ursprünglichen Form. Der Topologiefehler wird minimiert. Beide Algorithmen wurden implementiert. Die Flächenfehler sind im Vergleich mit bereits vorhandenen Algorithmen ähnlich oder kleiner, die benötigte Rechenzeit ist im Vergleich zu existierenden Algorithmen um Größenordnungen kleiner. In einer visuellen Gegenüberstellung mit existierenden Methoden generieren die vorgestellten Verfahren vergleichbare oder bessere Kartogramme. Welcher der beiden Algorithmen zu bevorzugen ist, hängt von der Zielsetzung ab. Die Anwendung von CartoDraw und RecMap wird anhand von zahlreichen Beispielen im Anwendungs-Kapitel in der Arbeit gezeigt. Die Arbeit bietet daher eine Vielzahl von neuen Möglichkeiten zur Visualisierung geographie-bezogener Daten mit Hilfe von Kartogrammen. In den folgenden Absätzen werden die Grundideen der Kartogramm-Algorithmen vorgestellt.

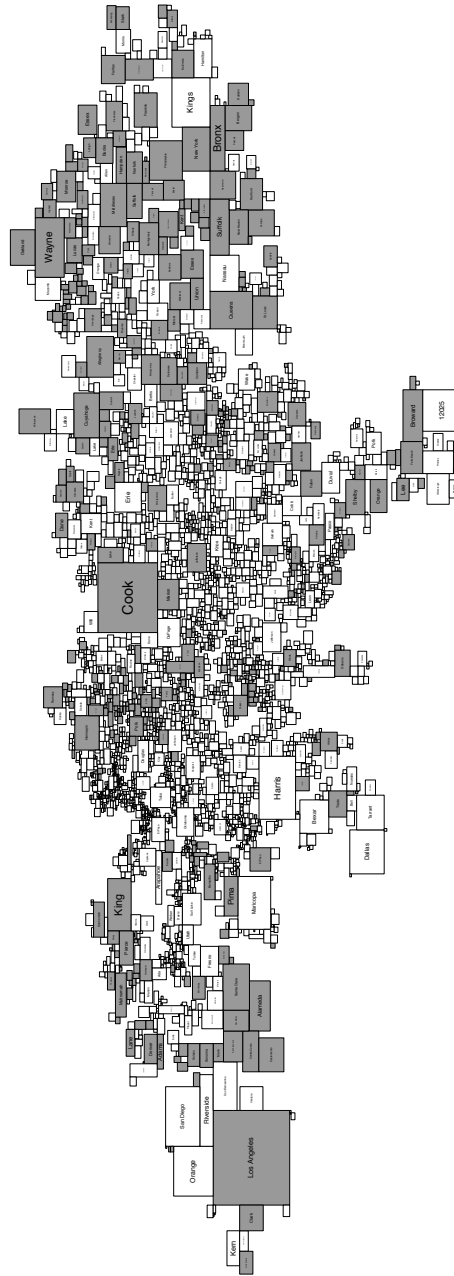


Abbildung 1: **WIE HAT AMERIKA GEWÄHLT?** – Auf einen Blick zeigt das Kartogramm die Zersplitterung der Wähler bei der 44. U.S. Präsidentschaftswahl im Jahre 2004. Dabei entsprechen die Flächen der Wahlmänner in den jeweiligen Landkreisen. Bei den grau hinterlegten Flächen wurde die Wahl zugunsten von John Kerry entschieden und die weissen Flächen bezeichnen die Landkreise, die für Präsident George W. Bush stimmten. Aus den 3085 Wahlkreisen ist zu erkennen, daß die meisten Metropolen für Kerry stimmten, während viele kleine ländlichen Provinzen George W. Bush wählten. Quelle: <http://www.census.gov/> (Ausgangskarte); <http://www.personal.psu.edu/users/a/c/acr181/2004.Election.zip> (Wahlkarten); Roland Heilmann und Christian Panse (Kartogramm).

2 CartoDraw: Berechnung von Kartogrammen bei Erhalt der ursprünglichen Form und Kartentopologie

Die Bedeutung zusammenhängender Kartogramme für die Visualisierung von geographie-bezogenen Daten ist daraus ersichtlich, daß eine Vielzahl verschiedener Kartogramm-Berechnungsverfahren in den letzten vier Jahrzehnten in regelmäßigen zeitlichen Abständen entwickelt wurden [Tob04]. Als Eingabe für den Algorithmus dient im Allgemeinen eine zusammenhängende Landkarte und ein Parametervektor, der jeder inneren Kartenregion einen positiven statistischen Wert zuordnet, wie in Abbildung 2 gezeigt. Ziel des

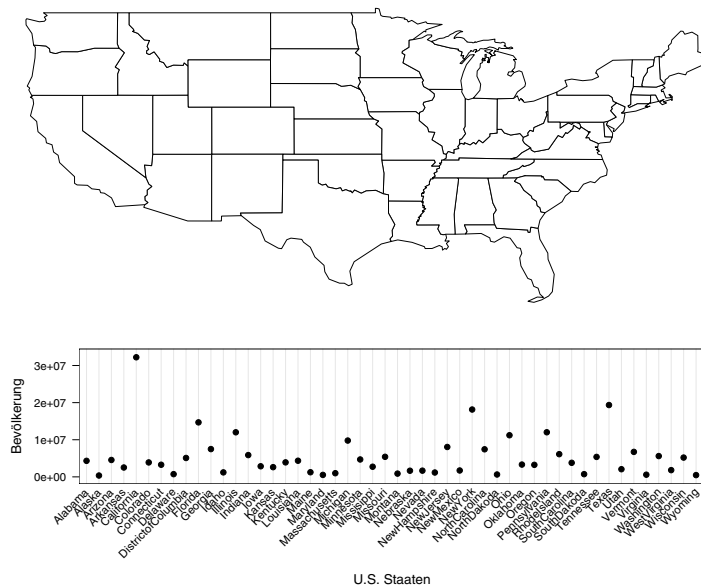


Abbildung 2: INPUT – Die Karte und der Graph zeigen einen möglichen Eingabe-Datensatz, d.h. in diesem Fall die U.S. Karte auf Bundesstaatenebene mit den zugehörigen Bevölkerungsdaten für jeden einzelnen U.S. Staat, für die Generierung von Kartogrammen.

Algorithmus ist es eine Kartenzeichnung zu erstellen, wobei die Fläche jeder einzelnen Kartenregion möglichst dem zugeordneten statistischen Wert entspricht und die Kartentopologie erhalten bleiben muss. Zusätzlich zu dieser im allgemeinen Fall nicht lösbarer Zielsetzung¹ soll die geometrische Gestalt der einzelnen Kartenregionen möglichst gut der Ausgangskarte entsprechen. Dies erleichtert eine Wiedererkennung der originalen Karte im Kartogramm.

Die ersten mit Hilfe von Computern erzeugten Kartogramme stammen von Waldo Tobler [Tob61]. Seine Algorithmen datieren zurück in die 60er Jahre. In den Lösungsansätzen von Tobler werden iterativ Richtungsvektoren auf die einzelnen Knoten der Kartenregionen aufsummiert, deren Betrag sich entsprechend dem statistischen Wert der zugehörigen

¹Eine formale Definition und den Beweisansatz findet der Leser in [KNP04].

Kartenregion verhält. Leider ist die Berechnung von zusammenhängenden Kartogrammen mit diesem Ansatz nicht befriedigend gut gelöst. Daher wurden in den folgenden Jahren weitere Verfahren vorgestellt. Bei der Entwicklung der Kartogramm-Algorithmen waren nicht nur Kartographen und Geographen beteiligt, sondern auch Wissenschaftler aus anderen Bereichen, z.Bsp. aus der Mathematik und Physik. Dies zeigt sich an den unterschiedlichen Lösungsansätzen. So existieren Verfahren, die auf stückweise linearen Abbildungen beruhen [EW97], auf Differenzialgleichungen und Linienintegralen [GZT93] basieren, sehr oft wurden aber auch Federmodelle zugrunde gelegt [DCN85, HK98] oder eine der jüngsten Ansätze basiert auf Diffusionsmodellen [GN04], um nur einige zu nennen. Hauptprobleme der existierenden Ansätze sind jedoch, daß einerseits keine Rücksicht auf die Form der Ausgangskarte genommen wird, der Flächenfehler nicht ausreichend reduziert wird oder die Kartogramm-Berechnung eine sehr hohe Rechenzeit in Anspruch nimmt. Der nachfolgend vorgestellte CartoDraw Algorithmus hat zum Ziel, alle diese Probleme zu lösen bzw. zu optimieren, und damit die Möglichkeit zu schaffen, geographie-bezogene Daten effektiv in wenigen Sekunden für die Datenanalyse zu darzustellen.

Die Kernidee von CartoDraw besteht darin, die Kartentransformation durch kleine Teiltransformationen durchzuführen. Dazu werden sogenannte Scanlines in der Karte positioniert. Über diese Scanlines iterieren mehrere Sectionlines, die in jedem Schritt die Karte in zwei Teile zerlegen und entsprechend den statistischen Werten eine Kontraktion oder Extraktion parallel zur Scanline durchführen, jedoch ohne die Topologie der Karte zu verletzen. Eine Kandidatentransformation wird jedoch nur persistent gemacht, wenn die Teiltransformation zu einem Kartenlayout mit geringeren Flächenfehler führt und die Form der betroffenen Kartenregionen sich nicht über ein Maß hinaus verschlechtert. Diese Bedingungen sind jedoch nicht statisch, sondern können vom Benutzer auch modifiziert werden, so daß es eine Fülle von CartoDraw Varianten gibt. In der Hauptschleife des CartoDraw-Algorithmus iterieren wir über eine Menge von Scanlinien, die man entweder durch eine mediale Achsen-Transformation [BN78, KNP05], einem Skelett der Karte, oder benutzergeführt plazierte, solange bis der Flächenfehler kleiner als ein gegebener Schwellwert ist oder eine maximale Anzahl von Iterationen durchgeführt wurden. In Abbildung 3 sieht man ein mit dem CartoDraw-Algorithmus berechnetes Kartogramm. Als Eingabe diente die U.S. Karte und die Bevölkerungsdaten wie in Abbildung 2 gegeben. Die Zeitkomplexität ist im wesentlichen abhängig von der Anzahl der Kartenknoten, der Anzahl der Iterationen sowie der Anzahl der verwendeten Scanlinien. Die Qualität der Transformation ist erfahrungsgemäß von der Anzahl der Kartenregionen abhängig. Implementiert wurde der CartoDraw-Algorithmus in C++ unter Zuhilfenahme von LEDA [MN99].

3 RecMap: Berechnung von Kartogrammen ohne Flächenfehler

Bevor Computer für die Visualisierung geographie-bezogener Daten nutzbar waren, wurden Kartogramme sehr aufwendig von Hand erstellt. Beispiele findet man in [Rai62] oder [Den99]. Das Zeichnen zusammenhängender Kartogramme stellte dabei eine besondere Schwierigkeit dar. Daher wurde die Kartenregionen oft vereinfacht dargestellt, z.Bsp. durch Rechtecke. Heute steht man bei der Berechnung von Algorithmen für die Zeich-

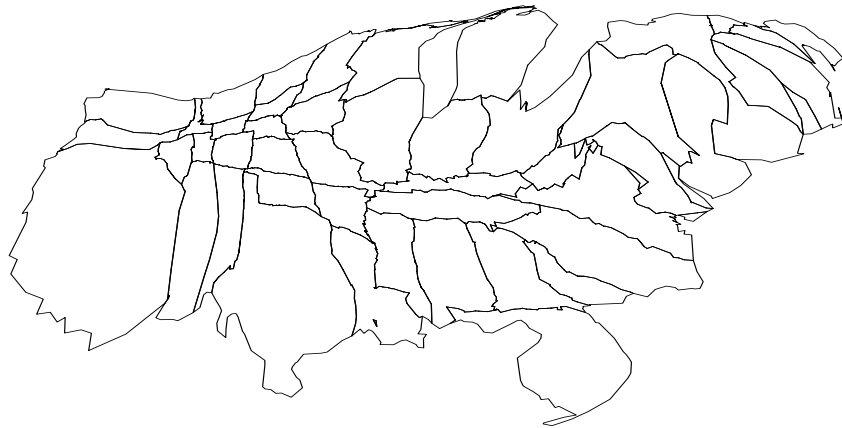


Abbildung 3: OUTPUT CartoDraw – Bevölkerungskartogramm. Die Fläche jeder Kartenregion stellt nicht mehr die Landbedeckende Fläche dar, sondern spiegelt den statistischen Wert, in diesem Beispiel die U.S. Bevölkerungsdaten wie in Abbildung 2, wieder. Die Topologie der Ausgangskarte wird durch CartoDraw erhalten. Dies ermöglicht ein intuitives Wiedererkennen der Regionen der Ausgangskarte für den Betrachter.

nung von zusammenhängenden Kartogrammen vor dem Problem, daß der Flächenfehler nie vollständig reduziert werden kann [KNP04]. Oft ist dies jedoch für eine effektive Datenanalyse unumgänglich. Unser in diesem Abschnitt vorgestellter Lösungsansatz besteht darin, die Erhaltung der Kartentopologie aufzugeben und die einzelnen Regionen durch Rechtecke zu approximieren, wobei die Seitenverhältnisse der Kartenregionen sich in den Seitenverhältnisse der Rechtecke widerspiegeln. Ein zu dieser von uns vorgeschlagene Lösung sehr ähnlicher Ansatz ist von Daniel Dorling [Dor96]. Die Idee dieser Methode besteht darin, die Regionen durch Kreise darzustellen, und die einzelnen Kreise, deren Flächen den statistischen Werten entsprechen, iterativ solange zu verschieben bis die Überlappungen und Lücken zwischen den Kreise eliminiert sind. Die Teilverschiebungen berechnen sich aus einem Federkraft-basierten Modell. Quadrees [FB74] oder Treemaps [JS91] bieten eine weitere Möglichkeit geographie-bezogene Daten darzustellen. Bei Treemaps ist es jedoch erforderlich, die entsprechende Hierarchie als zusätzliche Eingabe bei der Layoutberechnung zur Verfügung zu stellen. Ein kürzlich erschienener Ansatz [vKS04] berechnet zwar ein rechteckiges Kartenlayout, allerdings kann der Flächenfehler wie bei den zusammenhängenden Kartogrammen nur minimiert werden und es gibt somit keine Garantie, daß die Flächen den statistischen Wert widerspiegeln.

Unser Entwurf wurde als Optimierungsproblem mit zwei möglichen Varianten definiert:

1. Minimiere das resultierende Layout bezüglich Topologie-, Seitenverhältnis- und relativen Positionsfehler wobei die einzelnen Kartogramm-Regionen verbunden sind, sich nicht überlappen, keine Lücken zwischen den einzelnen Rechtecken bestehen und kein Flächenfehler vorhanden ist.
2. Minimiere das resultierende Layout bezüglich Topologie-, Zwischenraum-, und re-

lativen Positionsfehler wobei die einzelnen Kartogramm-Regionen verbunden sind, sich nicht überlappen, die Seitenverhältnisse der Kartenregionen erhalten bleiben und kein Flächenfehler vorhanden ist.

Die beiden o.g. Optimierungsprobleme werden bei RecMap durch sogenannte Konstruktionsheuristiken in Kombination mit einer Metaheuristik gelöst. Die Metaheuristik gibt der Konstruktionsheuristik mehrere Konstruktionssequenzen vor. Die Konstruktionsheuristik transformiert die Ausgangskarte unter Verwendung der Konstruktionssequenz in ein Kandidat-Kartogramm, welches mit Hilfe der einzelnen Fehlerfunktionen bewertet wird. Nach einer festen Anzahl von Iterationen der Metaheuristik wird dasjenige Kartogramm mit dem geringsten gewichteten Gesamtfehler ausgegeben. Als Metaheuristik dient ein genetischer Algorithmus. Während die erste Konstruktionsheuristik auf einer modifizierten Quadtree-Partitionierung basiert, startet der zweite Ansatz mit der Kernregion der Karte und ordnet die restlichen Kartenregionen sukzessive um die Kernregion an, wobei die an das entstehende Kartogramm jeweils angrenzende Region mit der geringsten Konstruktionsnummer als erstes ausgewählt wird. In jedem Teilschritt wird versucht, ein lokales Optimum bezüglich der „Soft-Bedingungen“, zu finden. In den Abbildungen 1 und 4 werden zwei klassische

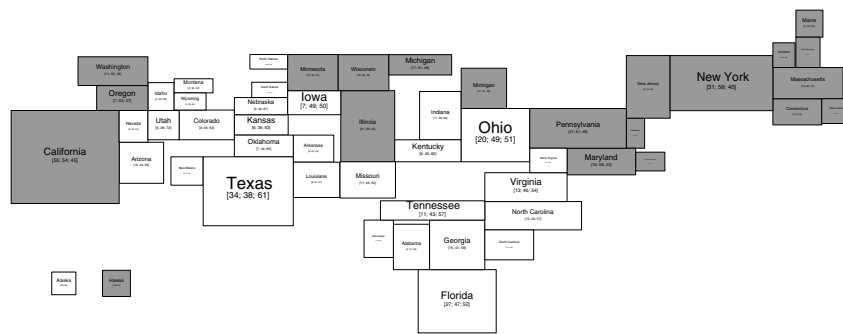


Abbildung 4: OUTPUT RecMap (Variante 2) – Das Kartogramm visualisiert den Ausgang der U.S. Präsidentschaftswahl im Jahr 2004. Dabei entsprechen die Flächen der Anzahl der Wahlmänner in den jeweiligen Bundesstaaten. Bei den grau hinterlegten Flächen wurde die Wahl zugunsten von John Kerry entschieden und die weissen Flächen bezeichnen die Staaten, die für Präsident George W. Bush stimmten.

Anwendungen von Kartogrammen, die mit RecMap (Variante 2) berechnet wurden, gezeigt. In Abbildung 4 wurde die U.S. Staaten Alaska und Hawaii nachträglich hinzugefügt. Die Flächen entsprechen den statistischen Werten und die Seitenverhältnisse der Kartenregionen wurden beibehalten. Die Nachbarschaft der Kartenregionen, die Lücken zwischen den einzelnen Regionen sowie die relative Position der Regionen wurden optimiert. Aus den abgebildeten Kartogrammen wird ein weiterer wichtiger Vorteil von RecMap ersichtlich: durch die Vereinfachung der Kartenregionen durch Rechtecke können Kartogramme mit einer wesentlich höheren Anzahl von Regionen analysiert werden als dies mit einem zusammenhängenden Kartogramm möglich wäre.

Der RecMap Ansatz hat eine quadratische sowie eine kubische Zeitkomplexität für die bei-

den Varianten. Auf einer 2.8GHz DUAL Xeon Maschine beträgt die Rechenzeit für das Kartogramm, welches in Abbildung 4 zu sehen ist, weit weniger als eine Minute. Steigt die Anzahl der Kartenregionen und ist die Anzahl der Iterationen sehr hoch, kann sich die Berechnung allerdings leicht über mehrere Stunden hinziehen. Der Ansatz eignet sich jedoch perfekt für eine Parallelisierung. Weiterhin ist der RecMap-Algorithmus grundsätzlich in der Lage die optimale Lösung zu finden, jedoch besteht keine Garantie das sie auch vom Algorithmus gefunden wird. Implementiert wurde RecMap in ANSI-C.

4 Weitere Verfahren und Kombinationen

Neben den theoretischen Betrachtungen und den beiden o.g. Algorithmen wurde in der Dissertation [Pan05] noch weitere Verfahren und deren Kombinationen vorgestellt. Darunter ist u.a. ein Verfahren, HistoScale, welches Pseudo-Kartogramme berechnet, d.h. zusammenhängende Kartogramme approximiert. Ein anderes Verfahren [KMP⁺05] wurde für die Visualisierung von E-mail-Daten entwickelt. Mit der Kombination von Kartogramm-Verfahren und PixelMap [KNPS04] ist es möglich, Pixel-basierte Datensätze darzustellen. Die Vorteil dieser Kombination besteht darin, daß eine Kartentransformation in Gebieten mit hoher Überlappung durchgeführt werden kann, bevor die einzelnen xy-Daten überlappungsfrei platziert werden. Eine andere interessante Möglichkeit bietet eine Kombination zwischen Kartogrammen und Texture Mapping Techniken [KNP05]. Dabei wird beispielsweise eine Relieftextur auf die Ausgangskarte geheftet bevor eine Kartentransformation bezüglich eines statistischen Wertes berechnet wird. Verwendet man beispielsweise die Bevölkerungsdaten wird ersichtlich, daß sich dünn besiedelte Gebirgsregionen zusammenziehen, während die bevölkerungsreichen Küstenregionen anwachsen. Der CartoDraw Algorithmus wurde auch für die Realzeitanalyse großer Telefondaten angewendet sowie für die Visualisierung von epidemiologischen Daten wie SARS oder zur Visualisierung bedrohter Arten. Viele der erwähnen Verfahren wurden in einem CartoView-System zusammengetragen, das nicht nur die Berechnung von Kartogrammen mit unterschiedlichen Algorithmen ermöglicht, sondern auch die Kombination mit vielen Informations Visualisierungs-Techniken [KPS04]. Ein Beweis, ob Varianten des Kartogramm-Problems in der Klasse \mathcal{NP} liegen, steht noch aus.

5 Zusammenfassung

In der Dissertation [Pan05] wurden zwei neuartige Algorithmen zur Generierung von Kartogrammen vorgestellt. Im Vergleich zu existierenden Verfahren wurden ähnliche oder bessere Kartogramme erzielt, bei jedoch wesentlich kleinerer Rechenzeit. CartoDraw und RecMap wurden so entwickelt, daß sie sich gegenseitig ergänzen. Welcher der vorgestellten Kartogramm-Algorithmen mit welchen Parametereinstellungen benutzt wird, hängt wesentlich von der Aufgabe und Zielsetzung sowie den zeitlichen Ressourcen des Benutzers ab.

Danksagung

Ich möchte herzlich meinem Doktorvater Daniel A. Keim sowie meinen Gutachtern Stephen C. North und Ulrik Brandes für ihre stete Hilfsbereitschaft und anregenden Diskussionen danken. Ich danke Waldo Tobler für die vielen Hinweise und Kommentare auf frühe Entwürfe von Artikeln und sein stetes Interesse an unseren Arbeiten. Ich bedanke mich weiterhin bei meinen Kollegen und Freunden in Konstanz, wobei ich besonders Roland Heilmann und Mike Sips hervorheben möchte. Meinen Eltern und besonders meiner Frau Anita bin ich dankbar für ihre stete Unterstützung.

Literatur

- [BN78] H. Blum und R. Nagel. Shape Description using weighted symmetric axis features. *Pattern Recognition*, (10):167–180, 1978.
- [DCN85] James A. Dougenik, Nicholas Chrisman und Duane R. Niemeyer. An Algorithm to Construct Continuous Area Cartograms. *The Professional Geographer*, 37(1):75–81, 1985.
- [Den99] Borden D. Dent. *Cartography: Thematic Map Design, 5th Ed., Chapter 11*. WCB/McGraw-Hill, Dubuque, IA, 1999.
- [DMK04] J. Dykes, A. MacEachren und M.-J. Kraak, Hrsg. *Exploring Geovisualization*. Oxford: Elsevier, 2004.
- [Dor96] Daniel Dorling. *Area Cartograms: Their Use and Creation*. Department of Geography, University of Bristol, England, 1996.
- [EW97] Herbert Edelsbrunner und Roman Waupotitsch. A combinatorial approach to cartograms. *Computational Geometry*, Seiten 343–360, 1997.
- [FB74] U. Finke und J. L. Bentley. Quad trees: a data structure for retrieval on composite keys. *Acta Inform*, 4:1–9, 1974.
- [GN04] Michael T. Gastner und M. E. J. Newmann. Diffusion-based method for producing density-equalizing maps. *PNAS*, 101(20):7499–7504, 2004.
- [GZT93] Sabir Gusein-Zade und Vladimir Tikunov. A New Technique for Constructing Continuous Cartograms. *Cartography and Geographic Information Systems*, 20(3):66–85, 1993.
- [HK98] Donald H. House und Christopher J. Kocmoud. Continuous Cartogram Construction. In *IEEE Visualization, Research Triangle Park, NC*, Seiten 197–204, 1998.
- [HKPS04] Roland Heilmann, Daniel A. Keim, Christian Panse und Mike Sips. RecMap: Rectangular Map Approximations. In *InfoVis 2004, IEEE Symposium on Information Visualization, Austin, Texas*, Seiten 33–40, October 2004.
- [JS91] B. Johnson und B. Shneiderman. Treemaps: A Space-filling Approach to the Visualization of Hierarchical Information. In *Proc. Visualization '91 Conf*, Seiten 284–291, 1991.

- [KMP⁺05] Daniel A. Keim, Florian Mansmann, Christian Panse, Jörn Schneidewind und Mike Sips. Mail Explorer - Spatial and Temporal Exploration of Electronic Mail. In *EuroVis 2005: Eurographics/IEEE-VGTC Symposium on Visualization, Leeds, United Kingdom*, June 2005.
- [KNP04] Daniel A. Keim, Stephen C. North und Christian Panse. CartoDraw: A Fast Algorithm for Generating Contiguous Cartograms. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 10(1):95–110, January/February 2004.
- [KNP05] Daniel A. Keim, Stephen C. North und Christian Panse. Medial-Axis-based Cartograms. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 25(3):60–68, May/June 2005.
- [KNPS04] Daniel A. Keim, Stephen C. North, Christian Panse und Mike Sips. Pixel based visual data mining of geo-spatial data. *ELSEVIER Computer & Graphics*, 28(3):327–344, June 2004.
- [KPS04] Daniel A. Keim, Christian Panse und Mike Sips. *Information Visualization: Scope, Techniques and Opportunities for Geovisualization*, Kapitel 1. In Dykes et al. [DMK04], 2004.
- [MN99] Kurt Mehlhorn und Stefan Näher. *The LEDA Platform of Combinatorial and Geometric Computing*. Cambridge University Press, 1te. Auflage, 1999.
- [Pan05] Christian Panse. *Visualizing Geo-Related Data Using Cartograms*. Dissertation, Universität Konstanz, 2005. urn:nbn:de:bsz:352-opus-16364.
- [Rai62] Erwin Raisz. *Principles of Cartography*. McGraw-Hill, New York, 1962.
- [Tob61] Waldo R. Tobler. *Map Transformations of Geographic Space*. Dissertation, University of Washington, Seattle, 1961. University Microfilms No. 61-4011.
- [Tob04] Waldo R. Tobler. Thirty Five Years of Computer Cartograms. *Annals, Assoc. Am. Geographers*, 94(1):58–73, March 2004.
- [vKS04] Marc van Kreveld und Bettina Speckmann. On Rectangular Cartograms. In *Proc. 12th European Symposium on Algorithms (ESA), Lecture Notes in Computer Science 3221*, Springer Verlag, Seiten 724–735, September 2004.



Christian Panse arbeitet seit Januar 2006 am Functional Genomics Center der Uni|ETH Zürich. Sein Verantwortungsbereich am FGCZ umfasst sämtliche Aspekte der *Proteome Informatics* wie algorithmische und statistische Datenprozessierung, Datenvisualisierung und Datenbankmanagement. Nach dem Abschluss seines Informatikstudiums (1996-2001, Nebenfach: Physik) an der Martin-Luther-Universität in Halle an der Saale und einem Auslandssemester an der University of Colorado at Boulder promovierte Christian Panse zwischen 2001 und 2004 am Lehrstuhl „Datenbanken, Data Mining und Visualisierung“ von Prof. Dr. Daniel A. Keim in Konstanz. Nach Abschluss seiner Dissertation verbrachte er ein weiteres Jahr in derselben Arbeitsgruppe als PostDoc. Neben dem *Kartogramm-Zeichnen*, gilt sein Interesse vor allem dem *Visualisieren* großer Datenmengen, dem Design und der Realisierung von hochauflösenden *Display Wall* Projektionstechnologien sowie IT-Systemen mit hohem Datendurchsatz für die *Datenanalyse*. Eine wichtige Erfahrung waren wiederholte Aufenthalte in der „Information Visualization Group“ der AT&T Shannon Laboratories in Florham Park, New Jersey.