

Skarlatidou, A.; Haklay, M.; Cheng, T. (2011): Trust in Web GIS: the role of Trustee Attributes in the Design of Trustworthy Web GIS Applications. In: *International Journal of Geographical Information Science*, 25 (1), S. 1913–1930

Slocum, T. A.; McMaster, R. B.; Kessler, F. C.; Howard, H. H. (2005): *Thematic Cartography and Geographic Visualization*. 2. Aufl., Upper Saddle River

Sweet, M. (2015): *Writing Interactive Music for Video Games*. Upper Saddle River

Taylor, D. R. F.; Lauriault, T. P. (2007): Future Directions for Multimedia Cartography. In: Cartwright, W.; Peterson, M. P.; Gartner, G. (Hrsg.): *Multimedia Cartography*. 2. Aufl., Berlin und Heidelberg, S. 505–522

Taylor, D. R. F. (1999): Future Directions for Multimedia Cartography. In: Cartwright, W.; Peterson, M. P.; Gartner, G. (Hrsg.): *Multimedia Cartography*. Berlin und Heidelberg, S. 315–326

Théberge, P. (2005): Sound Maps: Music and Sound in Cybercartography. In: Taylor, D. R. F. (Hrsg.): *Cybercartography: Theory and Practice*. Amsterdam, S. 380–410

Truax, B. (2001): *Acoustic Communication*. 2. Aufl., Westport

Tyner, J. A. (2015): *The World of Maps. Map Reading and Interpretation for the 21st Century*. New York

Tyner, J. A. (2014): *Principles of Map Design*. New York

VGChartz Ltd. (2016): Super Nintendo Entertainment System. The Top-Selling Super Nintendo Entertainment System Games. <http://www.vgchartz.com/platform/11/super-nintendo-entertainment-system/> [zuletzt aufgerufen: 7.1.2016]

Anmerkung

Dies ist keine offizielle Nintendo-Publikation.

Über die Autoren

Dr. Dennis Edler ist Akademischer Rat am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum (RUB). Im Jahre 1992 schenkte ihm der Weihnachtsmann eine SNES-Konsole. Mit dabei war das Spiel *Super Mario World*. Kontakt: dennis.edler@rub.de

Dr. Frank Dickmann ist Professor für Kartographie am Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum (RUB). Er leidet unter den *Ego-Shooter*-Spielen seiner Kinder. Kontakt: frank.dickmann@rub.de

Manuskript eingereicht am 8.1.2016

Nach Review angenommen am 25.1.2016

190 Jahre Choroplethenkarten – Ein Zwischenresümee

190 Years of Choropleth Mapping – Some Interim Conclusions

Florian Hruby; Mexiko-Stadt (Mexiko)

1826 veröffentlichte Charles Dupin das erste Beispiel eines Kartentyps, der heute unter dem Namen „Choroplethenkarte“ zu den verbreitetsten Darstellungen thematischer Kartographie zählt. Dieser Beitrag nimmt den 190. Jahrestag dieser Methode zum Anlass, die Standardvariante, ihre Vor- und Nachteile sowie Alternativen typologisch zusammenzufassen. Dabei wird deutlich, dass die der Choroplethenmethode zugrunde liegenden Probleme der Bezugsflächen- und Datenklassifikationsoptimierung bis heute ein Motor kartographischer Entwicklungen geblieben sind, weshalb die Choroplethenkarte auch 190 Jahre nach ihrer Erstveröffentlichung nichts von ihrer Innovationskraft verloren hat.

■ Schlüsselwörter: Choroplethenkarte, thematische Kartographie, Zensus-Kartographie, Datenklassifikation, Bezugsflächenoptimierung

Paying tribute to the 190th anniversary of choropleth mapping, this article aims to summarize the state of the art of a method that, since its beginnings in 1826, has become one of the most popular approaches of thematic cartography. In a typological manner, we will review pros and cons of the standard version compared with alternative choropleth methods. As we shall see, the fundamental characteristics inherent to this technique, i. e. enumeration area improvement and data classification, have been a constant driver of cartographic innovation for almost two centuries.

■ Keywords: Choropleth map, thematic cartography, census mapping, data classification, enumeration area improvement

0 Einleitung

Wissenschaftsgeschichtlich betrachtet werden Innovationen oft von Außenseitern der betroffenen Disziplin entwickelt (Kuhn 1970). Dies gilt auch für Charles Dupin, der als Ingenieur 1826 seine *Carte figurative de l'instruction populaire* publizierte (Abb. 1). Mit der Absicht: "To make visible the main difference, I had the idea to give to the various departments shades all the more dark since they sent less pupils to schools" (Dupin 1827; zitiert nach Palsky 2008, S. 415) schuf er das erste Beispiel eines Kartentyps, der ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts breite Anwendung fand (Palsky 2008; Boonstra 2013), um schließlich 1938 von John K. Whright (Perkins et al. 2011) als Choroplethenkarte (CPK) seinen heutigen Namen zu erhalten.

1 Einfache Choroplethenkarten

Zusammengesetzt aus den griechischen Wörtern *choros* (Raum, Platz) und *plethos* (Menge) stellen CPK quantitative Daten flächenbezogen dar, wobei – gemäß Dupins Idee – versucht wird, räumliche Variation der Daten durch eine entsprechende Variation von Farbparametern (Farbton, Sättigung, Helligkeit) sichtbar zu machen. Als flächenhafte Darstellungen sind CPK streng genommen „nur sinnvoll, wenn der darzustellende Sachverhalt in einer realen Beziehung zur Fläche steht“ (Bollmann et al. 2001, Stichwort: Flächenkartogramm¹-Me-

¹ Choroplethenkarten werden im Deutschen auch als *Flächenkartogramme* bezeichnet (Hake et al. 2002), was insofern Verwirrung stiften kann, als sich das Englische *cartogram* auf kartographische Anamorphosen bezieht (Kraak & Ormeling 2010).

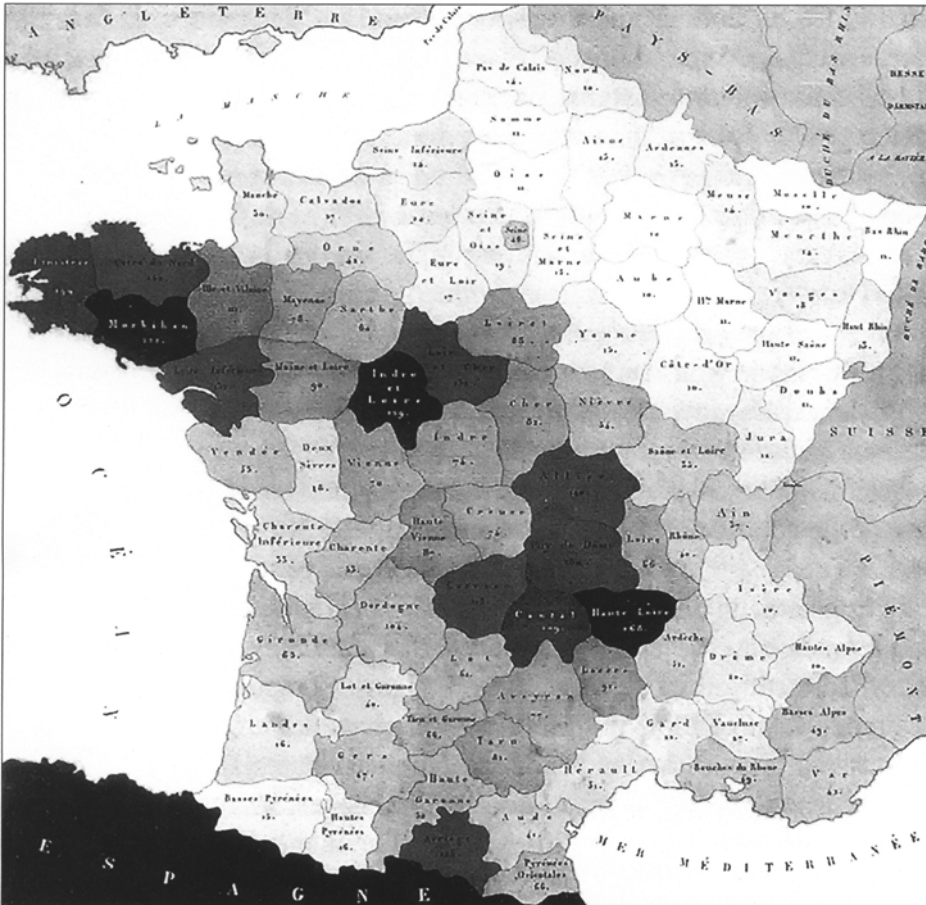


Abb. 1: Die *Carte figurative de l'instruction populaire de la France* (Dupin 1826) zeigt den Bildungsgrad der französischen Bevölkerung nach Bezirken (départements), visualisiert nach dem Prinzip „je dunkler, desto ungebildeter“; gilt als erstes Beispiel einer Choroplethenkarte. Öffentlich zugänglich (public domain) unter: <http://goo.gl/ZoS73w>

thode), z. B. im Falle der Bevölkerungsdichte. In der Praxis werden CPK aber auch für nicht-flächenbezogene Daten (z. B.: Analphabetenrate) verwendet, sodass Kraak & Ormeling (2010) flächenrelativierte und nicht-flächenrelativierte CPK als Grundtypen unterscheiden. Entgegen zitierter Warnung scheint es also angebracht, beide Varianten in diesen Beitrag miteinzubeziehen. In jedem Fall sind die Bezugsflächen meist administrative Gebietseinheiten, auf

deren Grundlage Daten üblicherweise in klassifizierter Form präsentiert werden; wir werden diese Konstellation im Weiteren mit Robinson et al. (1995) und Tyner (2010) als einfache *Choroplethenkarte* bzw. *Standardvariante* bezeichnen (Abb. 2), und Alternativen in Abschnitt 2 und 3 gesondert behandeln.

Der Standardvariante schreiben Jenks & Caspall (1971) drei Hauptfunktionen zu: (1) gibt sie einen Überblick statistischer Verteil-

lungen; (2) bildet sie eine flächenhafte Tabelle, aus der für jede Bezugseinheit ein entsprechender Wert(bereich) abgelesen werden kann; (3) fasst sie Bezugseinheiten zu Regionen gleicher bzw. ähnlicher Werte zusammen. In der Praxis verbindet sie somit zwei Vorteile:

- (1) Einfache Sichtbarmachung. Um räumliche Unterschiede sichtbar zu machen, werden Daten klassifiziert dargestellt: “While the idea of letting our data speak for itself is appealing, we often find it has too much to say. Thus, we traditionally rely on classification to reduce small – and presumably insignificant – differences to focus on the large ones” (Harrower 2007, S. 314).
- (2) Einfache Herstellung. Statistische Daten werden meist auf Verwaltungseinheiten aggregiert veröffentlicht und können in Geographischen Informationssystemen (GIS) mit den entsprechenden Geometrien verknüpft, analysiert, klassifiziert und visualisiert werden.

Mit diesen Hauptfunktionen bzw. Vorteilen korrespondieren drei Fehlergruppen, nämlich Verteilungs-, Klassifikations- und Regionalisierungsfehler (Jenks & Caspall 1971). Folgende Probleme stellen sich:

- (1) Die Zuweisung einer Farbe pro Bezugseinheit suggeriert eine gleichförmige Verteilung des dargestellten Sachverhaltes, die selten den realen Gegebenheiten entspricht (Eicher & Brewer 2001).
- (2) Verwaltungseinheiten unterscheiden sich oft in Größe und Form, was den visuellen Eindruck beeinflusst (Kraak & Ormeling 2010).
- (3) Mathematisch gesehen vermindert Datenklassifizierung die Präzision und verstellt den Zugang zu den genauen Daten (Egbert & Slocum 1992).
- (4) Daten sind unterschiedlich klassifizierbar, was Erscheinungsbild und Aussage der Karte beeinflusst (Monmonier 1991).

Um diese Nachteile zu überwinden, wurden einerseits Methoden zur Optimierung der Bezugsflächen entwickelt, anhand derer Kapitel 2 eine Typologie von CPK vorschlägt; dazu werden im Sinn des *Cartogram³*-Modelles (Roth et al. 2010) CPK

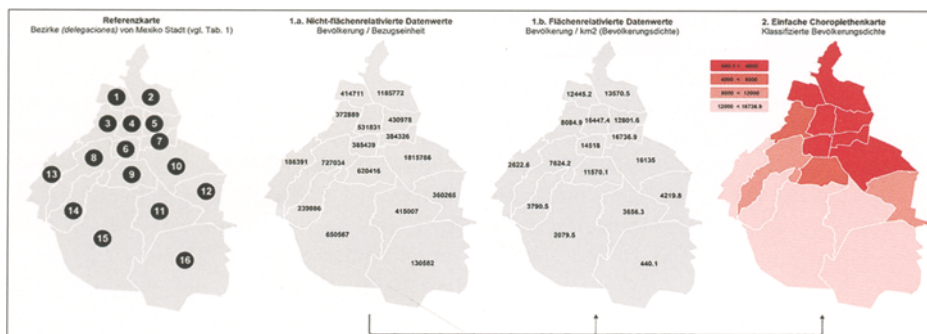


Abb. 2: Grundprinzip der Erstellung einfacher CPK, gezeigt am Beispiel der Bevölkerungsdichte von Mexiko-Stadt; die Flächenrelativierung der Daten wird in der Praxis optativ gehandhabt und ist daher mit gestrichelter Linie gekennzeichnet; Datenquelle: INEGI² (2010)

² Das Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) veröffentlicht Daten der im Abstand von 10 Jahren durchgeführten Volkszählungen in GIS-fähigen Formaten unter: <http://www.inegi.org.mx/est/scince/scince2010.aspx>.

Tab. 1: Übersicht der im Beitrag verwendeten Bevölkerungsdaten der Bezirke (delegaciones) von Mexiko-Stadt (inklusive der in Abb. 2 und 3 verwendeten Indices)

Bezirk (delegacion)	Kurzzahl (Abb. 1)	Akronym (Abb. 2)	Bevölkerung (2010 ¹)	Bevölkerung/km ² Abb. 3/Karte 1	Bevölkerung/km ² (dasymetrisch) Abb. 3/Karte 2
Álvaro Obregón	8	AO	727034	7624.2	14744.1
Azcapotzalco	1	AZ	414711	12445.2	21672.0
Benito Juárez	6	BJ	385439	14518.0	21588.0
Coyoacán	9	CO	620416	11570.1	20876.4
Cuajimalpa de Morelos	13	CM	186391	2622.6	6717.6
Cuauhtémoc	4	CT	531831	16447.4	25946.5
Gustavo A. Madero	2	GM	1185772	13570.5	25609.3
Iztacalco	7	IC	384326	16736.9	23704.7
Iztapalapa	10	IP	1815786	16135.0	25179.2
La Magdalena Contreras	14	MC	239086	3790.5	15888.8
Miguel Hidalgo	3	MH	372889	8084.9	13573.6
Milpa Alta	16	MA	130582	440.1	5393.4
Tláhuac	12	TH	360265	4219.8	12583.9
Tlalpan	15	TP	650567	2079.5	9154.8
Venustiano Carranza	5	VC	430978	12801.6	29621.0
Xochimilco	11	XO	415007	3656.3	8435.9

Quelle: INEGI²

hinsichtlich Formtreue, Topologieerhalt und Dichteangleichung (gibt an, wie gut Bezugsfläche und Datenwerte korrespondieren) beschrieben (Abb. 4). Andererseits zeigt Kapitel 3 Zugänge zur Klassenbildungsproblematik.

Verzichtet dieser Textaufbau weitgehend auf das Thema der Symbolisierung bzw. Verwendung geeigneter Farbparameter, so geschieht dies vor allem aus der Überlegung heraus, dass entsprechende Fragestellungen nicht nur für CPK, sondern auch für andere flächen- (z. B. qualitative Diskreta), aber auch linien- und punktförmig repräsentierte Daten relevant sind. Für vertiefende Information hierzu sei daher an dieser Stelle nur auf folgende Texte bzw. die darin zitierten Arbeiten verwiesen: Brewer et al. (1997), Harrower & Brewer (2003), Steirücken & Plümer (2013) und Sun (2015); (zu den speziellen Bedürfnissen farbfehlsichtiger NutzerInnen cf. Culp (2012), Edler et al. (2015) und Jenny & Kelso (2007)).

2 Bezugsflächenoptimierung

Die nachfolgend genannten Kartentypen werden in kartographischen Lehrbüchern unterschiedlich zitiert und gegliedert, und oft nicht dezidiert als CPK bezeichnet (cf. Hake et al. 2002; Kraak & Ormeling 2010; Robinson et al. 1995; Slocum et al. 2009; Tyner 2010). Dennoch scheint die hier versuchte Zusammenfassung gerechtfertigt, da sie einerseits die einleitend mit Robinson et

al. (1995) und Tyner (2010) vorgenommene Abgrenzung einfacher CPK logisch fortsetzt; andererseits handelt es sich im Weiteren jeweils um Darstellungen, auf die das choroplethische Grundprinzip flächenbezogener Visualisierung quantitativer Datenvariationen durch Farbparametervariationen angewandt werden kann.

2.1 Dasymetrische Choroplethenkarten

Dasymetrische CPK wurden als Prinzip (spätestens) 1833, und als Begriff (Дазиметрическая карта/dazimetricheskaya karta) 1911 von Semenov-Tian-Shansky entwickelt (Petrov 2012), abgeleitet wiederum aus dem Griechischen (*dasys* – dicht, *metreo* – messen), sodass dasymetrisch als *Dichte messend* übersetzt werden kann. Grundidee ist, Daten nicht über Verwaltungsgebiete, sondern unter Berücksichtigung zusätzlicher Informationen (z. B. Landnutzungsdaten) über homogenere geographische Bezugsflächen darzustellen. Dies geschieht im einfachsten Fall durch eine binäre Unterteilung der ursprünglichen Bezugseinheiten in bewohnte und unbewohnte (z. B. Wasserflächen, Wald) Gebiete, um danach die Daten der ursprünglichen Bezugseinheiten auf die als bewohnt definierte Fläche umzurechnen. Diese Zweiteilung ist für detailliertere Analysen zu vielfach gegliederten Gewichtungsschemata erweiterbar, wo jeder Landnutzungs-kategorie unterschiedliche Datenanteile zugewiesen werden (Eicher & Brewer 2001). Die deutsch-

sprachige Literatur rezipiert dasymetrische CPK kaum, weder als Begriff noch als Methode, obwohl Hake et al. (2002, S. 476) dezidiert auf die Verwendung geographischer Bezugsflächen hinweisen: „Der Vorteil dieser Methode liegt in der stärkeren Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse, der Nachteil im höheren Aufwand der Datenaufbereitung [...]“

Abbildung 3 (Karte 2) zeigt ein einfaches Beispiel dasymetrischer CPK, bei dem die eben genannte Zweiteilung in bewohnte und unbewohnte Gebiete vorgenommen und die Bevölkerungsdichte entsprechend umgerechnet wurde. Gegenüber einfachen CPK (Abb. 3, Karte 1) zeigt sich ein differenzierteres Bild, das auch unbewohnte Gebiete ausweist; zudem ergeben sich höhere Dichtewerte, welche Bevölkerungskonzentrationen in bebauten Bereichen genauer darstellen (Tab. 1: letzte vs. vorletzte Spalte).

2.2 Gitterchoroplethenkarte

Adressieren dasymetrische CPK v. a. die genannte Problematik der bezugsflächeninternen Werthomogenisierung, so versuchen Gitter-CPK auch die Nachteile unterschiedlich großer Bezugsflächen zu berücksichtigen, um so die räumliche und zeitliche Vergleichbarkeit zu vereinfachen (Hake et al. 2002). Dazu wird das darzustellende Gebiet mit einem (meist quadratischen oder hexagonalen) regelmäßigen Gitternetz überzogen, dessen Elemente als Bezugsfläche der Datenaggregation verwendet und mit ent-

sprechenden Farbparametern gekennzeichnet werden. Je nach Verfügbarkeit schwach bzw. nicht aggregierter Basisdaten bieten sich verschiedene Möglichkeiten (z. B. Kerndichteschätzer), um den Gitterzellen Werte zuzuweisen (Martin 1989). Sind etwa Daten auf Häuserblockebene verfügbar, können diese dem Zentroiden jedes Häuserblocks als Attribute zugeordnet werden, um danach die Werte aller Zentroide innerhalb einer Gitterzelle zu summieren. Karte 3 (Abb. 3) zeigt dieses Prinzip anhand statistischer Bezirke (*Área Geoestadística Básica/AGEB*), deren Daten in ein Hexagonalgitter aggregiert und auf dessen Fläche umgerechnet werden. Wie bei dasymetrischen CPK ergibt sich eine detailliertere Darstellung, die unbewohnte Gebiete und – im Vergleich zur Standardversion – unterschiedliche Bevölkerungsdichten ausweist (Abb. 3: Karte 1 vs. Karte 3). Offensichtlich bergen auch Gitter-CPK einen Ungenauigkeitsfaktor, da die Zellengrenzen nur selten mit den Grenzen der Datenerhebungsgebiete übereinstimmen, doch wird dieser Fehler umso kleiner sein, je feiner die Rasterweite des Gitternetzes gewählt werden kann (Kirchner et al. 2014).

2.3 Choroplethische Kartenanamorphosen

Stellen die genannten Typen von CPK weder Raum- noch Maßstabstreue infrage, so lassen sich zum Thema des Beitrages auch Beispiele anführen, bei denen kein geometrischer, sondern ein sachbezogener Maßstab verwendet wird, d. h. kartenverwandte Darstellungen, „bei denen die Absolutangaben selbst die Größe der Bezugsfläche bestimmen“ (Hake et al. 2002, S. 473). Werden Kartenanamorphosen im Sinne von CPK verwendet, so erlaubt dies eine gemeinsame Visualisierung zweier Variablen, deren eine (z. B. Bevölkerungszahl) durch die Größe der Bezugseinheit und deren andere (z. B. Bevölkerungswachstum) durch Farbparameter ausgedrückt werden kann (Abb. 3, Karte 4). Methodisch lassen sich einerseits Kartenanamorphosen unterscheiden, die eine Größenverzerrung auf die tatsächliche Form der Bezugseinheit anwenden oder aber diese zuvor durch eine geometrische Form (z. B. Kreis oder Rechteck) ersetzen (Reyes Nuñez & Juhász 2015); andererseits lassen sich kontinuierliche von nicht-kontinuierlichen Anamorphosen trennen (Abb. 4). Ein erkenntnisfördernder Mehrwert von Kar-

tenanamorphosen ist umstritten; Übersichten zum Forschungsstand sowie empirische Untersuchungsdaten bieten z. B. Sun & Li (2010), Kaspar et al. (2011) und Reyes Nuñez & Juhász (2015).

2.4 Tilemaps

Entsprechend Abschnitt 2.3 suchen Kartenanamorphosen bei variierender Formtreue bzw. Topologieerhalt eine möglichst gute Angleichung von Bezugsflächengröße und Datenwerten. Von diesem Ansatz lässt sich eine Visualisierungsform abgrenzen, die für keinen der drei Parameter ein Maximum anstrebt, sondern diese auf ein Minimum reduziert, indem alle Bezugsflächen durch identische Geometrien ausgedrückt werden. Als konzeptueller Anknüpfungspunkt an bereits genannte kartenverwandte Ausdrucksformen bleibt dabei v. a. der Versuch, die äußere Form des darzustellenden Raumes (z. B. eines Staates) erkennbar zu lassen. In Bezug auf die Topologietreue bedeutet dies, dass real benachbarte Bezugsflächen nicht nur graphisch getrennt, sondern auch verschoben werden können. Es kommen also u. U. Bezugsflächen nebeneinander zu liegen, welche Einheiten repräsentieren, die in der Realität nicht aneinandergrenzen (Abb. 3, Karte 5).

Die Verwendung flächenneutraler, uniformer Bezugsgeometrien prädestiniert Tilemaps für nicht-flächenbezogene Daten, wo trotz topologischer Ungenauigkeiten großräumige Vergleiche und Verteilungsmuster dargestellt und visuelle Ungleichgewichte (infolge unterschiedlich großer Verwaltungseinheiten) ausgeglichen werden können. Tilemaps finden z. B. im Datenjournalismus Anwendung (z. B. The Washington Post: Berkowitz & Gamio 2015).

2.5 Cartogram³

Abschnitt 2 fasste Anwendungsmöglichkeiten der Choroplethenmethode zusammen, um zu zeigen, wie zwischen den Eigenschaften Formtreue, Topologieerhalt und Dichteangleichung nach einer – für die jeweilige Zielsetzung – optimalen Definition der Bezugsfläche (choros) gesucht wird. Ehe wir uns der Klassifikation der Datenwerte (plethos) zuwenden, um somit beiden Namensbestandteilen der Choroplethenkarte Rechnung zu tragen, soll das bisher Gesagte typologisch verbunden werden. Wir bedienen uns dazu des Cartogram³-Konzeptes von Roth et al. (2010), welches die drei genannten Kriterien innerhalb eines Würfelmodells aufgespannt. Abbildung 4 gibt ein entsprechendes Beispiel.

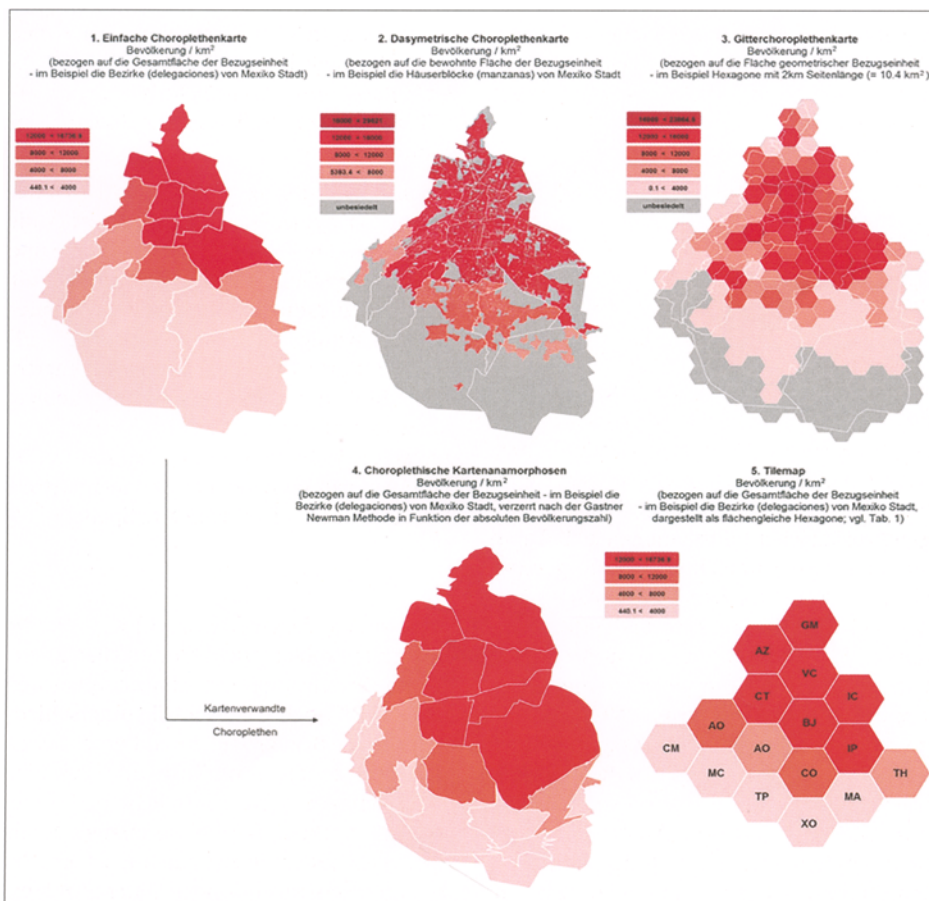


Abb. 3: Anwendungsbeispiele der Choroplethenmethode auf unterschiedlich berechnete Bezugsflächen (Datenquelle: INEGI²)

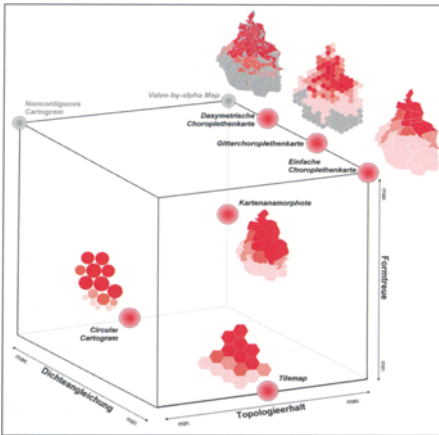


Abb. 4: Cartogram² – angewandt auf choroplethische Darstellungen; in grauer Farbe sind Kartentypen vermerkt, die von Roth et al. (2010) eingetragen wurden, hinsichtlich ihrer Positionierung jedoch nicht der Meinung des Autors entsprechen. Die verzeichneten kartentypenverwandten Darstellungen können bezüglich Formtreue bzw. Topologierhalt variieren, und wurden daher zentral auf den entsprechenden Achsen markiert

3 Datenklassifizierung

3.1 Klassifizierte vs. klassenlose Choroplethenkarten

Widmet sich die Fachliteratur zu CPK v. a. der Frage der Datenklassifizierung (3.2 und 3.3), so sei zunächst die seit Tobler (1973) bekannte Möglichkeit klassenloser Visualisierung erwähnt, bei der jeder Datenwert durch einen eigenen Farbparameter, d. h. kontinuierlich, dargestellt wird: “From a mathematical standpoint, unclassified maps are ideal because they eliminate error due to data classification” (Egbert & Slocum 1992, S. 284). Ob diese Exaktheit seitens der NutzerInnen verarbeitet werden kann oder nicht einfach zu Karten mit zu vielen Klassen führt (Cromley 1995), ist umstritten. Forschungsübersichten geben Stewart & Kennelly (2010) und Brewer & Pickle (2002); zudem sei mit Harrower (2007) auf die Bedeutung klassenloser animierter CPK hingewiesen.

Als hybride Alternative schlagen Stewart & Kennelly (2010) *illuminierte CPK* vor, die sich aus zwei Komponenten zusammensetzen: Komponente 1 ist eine klassifizierte CPK (im Sinne der in Kapitel 2 genannten Optionen). Konzeptueller Ausgangspunkt von Komponente 2 ist die Idee, CPK im Sinne statistischer Oberflächen (Rase 2000) dreidimensional als “planimetric representations of volumetric statistical distributions” zu betrachten (Jenks & Caspall 1971, S. 219), wobei jede Bezugseinheit die Basis, und der entsprechende Datenwert die Höhe eines Prismas bestimmt. Analog zur Schum-

merung kann nun aus einer imaginären Lichtquelle der Schattenwurf jedes Prismas berechnet werden, dessen Länge bzw. Härte eine Funktion des dargestellten Wertes ist. Für Komponente 2 werden nun die entsprechenden Schatten aus (zu Komponente 1) untergeordneten Bezugseinheiten (d. h. klassenlos) berechnet, und der klassifizierten Choroplethenkarte (Komponente 1) überlagert (Abb. 5). Dies erlaubt nicht nur genaue Wertezuordnungen im Rahmen der festgelegten Klassen, sondern auch die Kennzeichnung relativer Unterschiede (d. h. größer vs. kleiner) zwischen benachbarten Flächen. NutzerInnen illuminierter CPK sehen Unterschiede zwischen Nachbargebieten signifikant besser, ohne dass die Zuordnungsleistung zwischen Flächensymbol und Kartenlegende dabei beeinträchtigt wird (Stewart & Kennelly 2010).

Die Debatte zur klassifizierten vs. klassenlosen Darstellung ergänzend ist auf die Option digitaler, interaktiver CPK hinzuweisen, wo Werte einerseits farblich klassifiziert

dargestellt, andererseits durch Anklicken jeder Bezugsfläche auch unklassifiziert abgefragt werden können. Der Vollständigkeit halber sei schließlich erwähnt, dass unterschiedliche Klassifikationsmethoden (vgl. Abschnitt 3.2 und 3.3) Erscheinung und Aussage der Karte verändern (Jenks & Caspall 1971; Monmonier 1996).

3.2 Klassenbildung mittels nicht-räumlicher Statistiken

Obwohl theoretisch umstritten, zeigt die kartographische Praxis ein klares Bekenntnis zur Klassenbildung; die empfohlene Klassenzahl variiert nach Quelle (z. B.: Peterson (2009): max. 10–12; Kraak & Ormling (2010): max. 7); verallgemeinernd gilt: “The number of classes is limited by the number that the human eye can recognize” (Tyner 2010; S. 161).

Wie diese Klassen abzugrenzen sind, ist eine der wesentlichsten (Jenks & Caspall 1971) und meistdiskutierten (Armstrong et al.

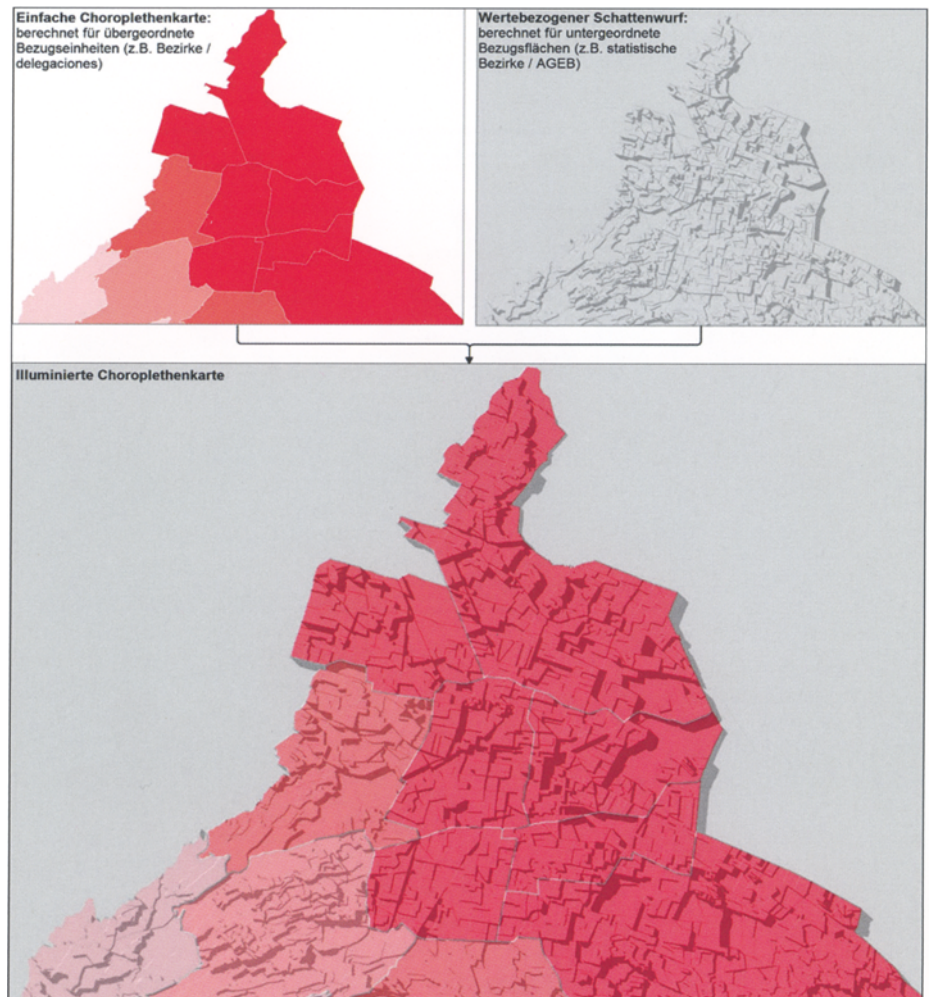


Abb. 5: Konstruktionsprinzip und Basiskomponenten illuminierter CPK, gezeigt am Beispiel der nördlichen Bezirke (delegaciones) von Mexiko-Stadt; für Datenquelle und Zeichenerklärung siehe Abb. 3

Tab. 2: Klassifikationsmethoden ausgewählter GIS sowie (unterschiedliche) Klassengrenzwerte für die Methode „Natural Breaks (Jenks)“, gezeigt am Beispiel statistischer Bezirke (AGEB) in Mexiko-Stadt; sofern ein GIS eine Klassifikationsmethode standardmäßig vorgeschlägt, ist diese schwarz unterlegt gekennzeichnet

Datenklassifikationsmethode	ArcGIS (10.3)	Klassengrenzen – Natural Breaks (Jenks)	gvSIG (2.1)	Klassengrenzen – Natural Breaks (Jenks)	QGIS (2.10)	Klassengrenzen – Natural Breaks (Jenks)
Manuelle Intervalle	✓		✓		✓	
Gleiche Intervalle	✓	7991.0	✓	7991.0	✓	7816.0
Definierte Intervalle	✓	15612.9	✗	15612.9	✗	15783.0
Quantile	✓	23371.0	✓	23371.0	✓	23621.4
Natural Breaks (Jenks)	■	34198.8	■	34198.8	✓	35768.4
Geometrische Intervalle	✓	63767.8	✗	63767.8	✗	63767.8
Standardabweichung	✓		✗		✓	
Pretty Breaks	✗		✗		✓	

Quelle: INEGI²

2003; Brewer & Pickle 2002) Fragen bei der Herstellung von CPK, wobei meist nicht-räumliche statistische Eigenschaften (z. B. Lage- und Streuungsparameter) als Klassifikationsgrundlage dienen. Tabelle 2 zeigt die verbreitetsten Methoden der heute weitgehend GIS-basierten Kartographie.

Beachtenswert in Tabelle 2 ist nicht nur, dass Jenks *Natural Breaks* Methode, welche Unterschiede innerhalb jeder Klasse minimiert, in ArcGIS und gvSIG standardmäßig vorausgewählt ist (vgl. Cromley et al. 2015), sondern andere Klassengrenzen ausweist als gleichlautendes Verfahren in QGIS. Inwiefern diese Defaultsetzung die Wahl der Klassenbildung beeinflusst, ist somit eine interessante Forschungsfrage. Dies umso mehr, als Brewer & Pickle (2002) empirisch feststellen, dass hinsichtlich Datenextraktion, Mustererkennung und -vergleich zwischen mehreren Karten eine auf Basis von Quantilen erstellte Klassifikation die geringsten Fehler erzeugt.

Auf eine weitere Schwierigkeit nicht-räumlich klassifizierter CPK, nämlich das Verständnis der Werteverteilung, weist Kumar (2004) hin, gemeinsam mit dem Vorschlag, die traditionelle (rein zeichenerklärende) Legende zu einem Häufigkeitsdiagramm zu erweitern, was die Bewertung der statistischen Verteilung nicht nur erleichtert, sondern im Vergleich zur Standardvariante überhaupt erst ermöglicht.

3.3 Klassenbildung mittels räumlicher Statistiken

“[E]verything is related to everything else, but near things are more related than distant things”, lautet Toblers (1970, S. 236) erstes Gesetz der Geographie. Dieses wird bei einer nicht-räumlich formulierten Klassenbildung kaum beachtet, da diese v. a. die Tabellenfunktion von CPK bzw. entsprechende Klassifikationsfehler adressiert. Jedoch weisen

bereits Jenks & Caspall (1971) auf eine weitere Aufgabe von CPK hin, nämlich die Bildung bzw. das Erkennen einander ähnlicher (d. h. räumlich zusammenhängender) Regionen zu erleichtern. Eine solche geographische Klassenbildung wird in der Fachliteratur deutlich schwächer rezipiert, als die tabellen-statistisch dominierte “choropleth classification orthodoxy” (Armstrong et al. 2003, S. 597) – eine Forschungslücke, die MacEachren (2004, S. 166) deutlich anspricht: “Why, then, do we ignore space when classifying data for a choropleth map?” Armstrong et al. (2003) suchen die Antwort hierauf mittels multipler Kriterien (z. B. Flächengröße und räumliche Autokorrelation), Csillag et al. (2008) über hierarchische Clusteranalysen; eine Übersicht überwachter Regionalisierungsmethoden geben Duque et al. (2007).

4 Datenvergleich

Obige Ausführungen zur Klassen- und Bezugsflächenoptimierung versuchten, der Hauptabsicht dieses Betrages, die 190-jährige Entwicklung der CPK typologisch zusammenzufassen, Genüge zu tun. Ergänzend sei eine Thematik angesprochen, welche die Choroplethenmethode nur indirekt betrifft, für ihren praktischen Einsatz jedoch relevant ist, nämlich die Möglichkeiten, CPK miteinander zu vergleichen.

Der Wunsch thematischer Gegenüberstellung ist fast so alt wie die CPK selbst: Bereits 1829 veröffentlichten Balbi & Guerry nebeneinander drei einfache CPK zur räumlichen Verteilung von Straftaten gegen Personen, Eigentumsdelikten und Bildungsniveau in Frankreich, um die verbreitete Meinung einer Verbindung von Kriminalität und Unbildung zu prüfen und – als Folge ihrer Karte – abzulehnen (Palsky 2008).

Dienen also einzelne CPK dem Vergleich der Bezugsflächen(klassen), so versucht eine Gegenüberstellung mehrerer Karten entweder, jede Bezugsfläche auf thematische oder zeitliche Unterschiede gegenüber einer Vergleichskarte zu prüfen, oder zwei unterschiedliche Räume (z. B. Nachbarstaaten) in Relation zu setzen.

Wie bereits von Balbi & Guerry exerziert, können Karten durch gemeinsame Präsentation verglichen werden. Dabei folgt die Anzahl darstellbarer Karten bei gegebener Zeichenträger- bzw. Bildschirmgröße aus dem Maßstab, sodass sich vom großformatigen Vergleich zweier Karten bis zur Gegenüberstellung vieler kleiner Karten (vgl. Tufte (1990) *small multiples*) ein breites Spektrum möglicher Vergleichsszenarien bedienen lässt. Im Falle digitaler Darstellung lassen sich Kartenpaare desselben Raumes alternativ auch übereinanderlegen und durch dynamische Interfaces (z. B. Schieberegler) interaktiv vergleichen (Hruby 2015).

Von besonderem Interesse – weil der Grundidee der CPK naheliegend – ist an dieser Stelle die Option *bivariater* CPK. Dabei werden zwei Variablen V_1 und V_2 in drei (max. vier) Klassen unterteilt (Abb. 6 [1] (A), [1] (C)), um diese Klassen anschließend zu verbinden (Abb. 6 [1] (B)).

Den resultierenden Kategorien weist man Farbparameter so zu, dass sowohl die Wertordnung von V_1 und V_2 als auch die Stärke der räumlichen Übereinstimmung $V_1 V_2$ sichtbar werden. Mit Leonowicz (2006) empfiehlt es sich, die Klassen ausgehend von Mittelwert und Standardabweichung jeder Variable zu bilden (Abb. 6 [2] (a), [2] (b)), sodass die Legende nicht nur zur Übersetzung der Symbolik, sondern auch zur Erklärung der Werte- und Klassenverteilung (Abb. 6 [2] (c)) dient.

Empirisch betrachtet attestiert Leonowicz (ibid.) bivariaten CPK eine bessere Vermitt-

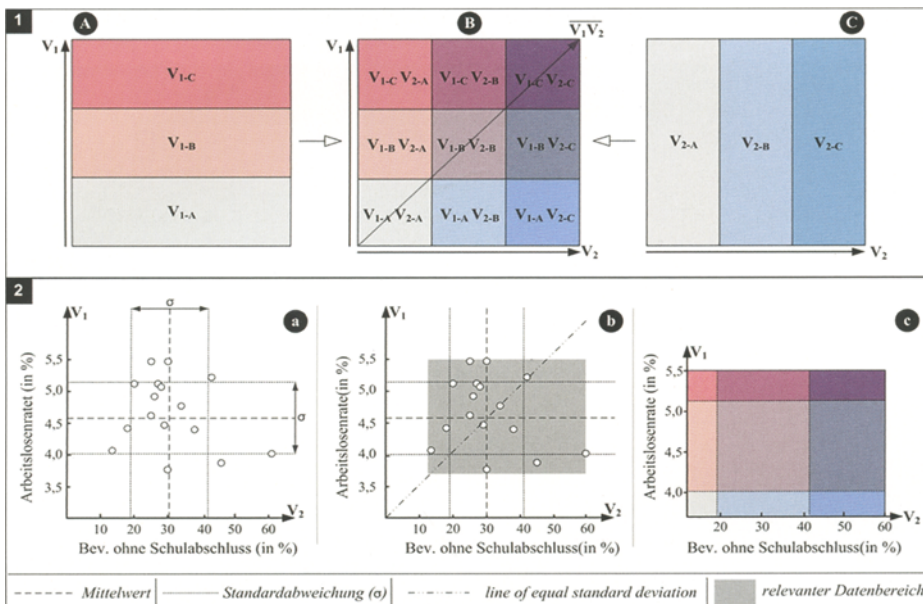


Abb. 6: Konstruktionsprinzip bivariater CPK, gezeigt am Beispiel der Themen Arbeitslosenrate (V1) und Schulabsolventenquote (V2) in den 16 Bezirken (delegaciones) von Mexiko-Stadt; Datenquelle: INEGI²

lung räumlicher Zusammenhänge zweier Variablen. Thematisch gesehen ist nicht nur eine Visualisierung zweier Variablen, sondern auch die Darstellung zweier Aspekte derselben Variable (z. B. Datenverlässlichkeit und -aktualität) möglich. Als weitere Anwendung schlägt Perdue (2013) vor, horizontale und vertikale Bevölkerungsdichten in bivariaten CPK gemeinsam sichtbar zu machen.

Eine besondere Ausprägung bivariater CPK stellt die von Roth et al. (2010) entwickelte *value-by-alpha map* dar, welche eine zweite Variable nicht über Farbparameter, sondern über eine werteabhängig berechnete Transparenz darstellt (Abb. 4).

5 Zusammenfassung

Als Charles Dupin 1826 seine erste CPK veröffentlichte, stieß er damit bei der Fachgemeinschaft auf geteiltes Interesse: “[...] being an engineer, Dupin was an outsider. By profession, he was neither a statistician nor a cartographer. As a result, he was not very successful in stirring enthusiasm in others, be it statisticians or cartographers, to follow his example” (Boonstra 2013, S. 29). 190 Jahre später zählt Dupins Innovation hingegen zu den verbreitetsten Methoden thematischer Kartographie (Armstrong et al. 2003; Kumar 2004), wobei diese Popularität v. a. die einfache CPK (vgl. Kapitel 1) betrifft.

Wie im Beitrag gezeigt, kann die Verbreitung der Standardversion auch kritisch gesehen werden, da sie Verteilungs-, Klassifi-

kations- und Regionalisierungsfehler impliziert. Dies wiegt umso schwerer, als fraglich ist, wie weit diese Fehler bei der Nutzung, aber auch bei der Kartenproduktion reflektiert werden; ArcGIS und gvSIG schlagen z. B. Klassifikationsmethoden vor, deren Präferenz durch empirische Studien nicht gestützt bzw. sogar infrage gestellt wird (Abschnitt 3.2 und Tab. 2).

Dabei sind die Nachteile der einfachen CPK der theoretischen Kartographie längst bekannt und bis heute ein Motor für Forschungen zur Bezugsflächen- und Datenklassifikationsoptimierung. Erarbeitete Alternativen finden zwar bislang sowohl bei der Aufbereitung statistischer Daten als auch bei der Bereitstellung entsprechender GIS-Werkzeuge noch wenig Beachtung, doch zeichnen sich Änderungen in den auf verschiedenen Verwaltungsebenen eingerichteten Geodateninfrastrukturen ab: Bei der Datenaufbereitung haben zahlreiche europäische Länder, z. B. Irland (NISRA 2015), Dänemark (Statistics Denmark, 2015), oder Deutschland mit dem Bundesstatistikgesetz von 2014 (Kirchner et al. 2014) begonnen, Zensusdaten nicht nur auf Verwaltungseinheiten, sondern auch auf regelmäßige Gitternetze aggregiert zu veröffentlichen (Scholz et al. 2013). Auch GIS-seitig sind, zumindest mittels Erweiterungen, Alternativen zur Standardvariante, z. B. Gitter- oder illuminierte CPK und Anamorphosen, bereits relativ einfach umsetzbar. Die CPK hat also auch nach 190 Jahren nichts von ihrer Innovationskraft verloren.

Aus diesen Optionen folgt weder, dass einfache CPK ausgesiedet hätten, noch die Suche nach der optimalen Bezugsflächen- und Klassenlösung im Sinne der traditionellen “one-map solution” (Monmonier 1991). Allerdings stellen sich der wissenschaftlichen Kartographie immer dann, wenn die Verwendung einer CPK überlegt wird, zumindest folgende Fragen: Welche alternativen Choroplethenmethoden stehen zur Verfügung? Was sind deren entsprechende Vor- und Nachteile? Zu diesen Fragen wurde im Beitrag zweierlei deutlich: Erstens ist das kartographische Fachwissen zu potenziellen Bezugsflächen und Datenklassifizierungen keineswegs vollständig und wird durch die zunehmenden Möglichkeiten multi-dimensionaler Darstellungen zusätzlich herausgefordert werden. Zweitens sind die Vorteile einer Lösung oft die Nachteile einer alternativen Methode, weshalb es sich im Sinne eines multi-repräsentationalen Ansatzes (MacEachren 2004) anbietet, NutzerInnen verschiedene Perspektiven auf eine räumliche Fragestellung zu eröffnen, z. B. “different maps presenting a range of both plausible and extreme cartographic views” (Monmonier 1991, S. 4). Eine Grundregel für die Beantwortung der eben aufgeworfenen Fragen hat Charles Dupin bereits vor 190 Jahren formuliert: “[M]ake visible the main differences, [...]” (zitiert nach Palsky 2008, S. 415). Für eine solche Sichtbarmachung raumbezogener Unterschiede stehen der Kartographie mittlerweile verschiedene Choroplethenmethoden zur Verfügung – mehr als in der aktuellen Praxis Verwendung finden.

Literatur

Armstrong, M.; Xiao, N.; Bennett, D. (2003): Using Genetic Algorithms to Create Multicriteria Class Intervals for Choropleth Maps. *Annals of the Association of American Geographers*, 93 (3), S. 595–623

Berkowitz, B.; Gamio, L. (2015): What you need to know about the measles outbreak. *The Washington Post*: <https://www.washingtonpost.com/graphics/health/how-fast-does-measles-spread/>

Bollmann, J.; Koch, W. G.; Lipinski, A. (2001) (Hrsg.): *Lexikon der Kartographie und Geomatik*. Spektrum Verlag: Heidelberg. In digitaler Form: <http://www.spektrum.de/lexikon/kartographie-geomatik/>

Boonstra, O. (2013): The Dawn of a Golden Age? Historical GIS and the History of Choropleth Mapping in the Netherlands. In: A. von Lünen and Ch. Travis (Hrsg.): *History and GIS*, Springer: Heidelberg, S. 27–38

Brewer, C. A.; MacEachren, A. M.; Pickle, L. W.; Herrmann, D. (1997): Mapping mortality: Evaluating colour schemes for choropleth maps. *Annals of the Association of American Geographers*, 87 (3), S. 411–438

- Brewer, C.; Pickle L. (2002): Evaluation of Methods for Classifying Epidemiological Data on Choropleth Maps in Series. *Annals of the Association of American Geographers*, 92 (4), S. 662–681
- Cromley, R. (1995): Classed versus Unclassed Choropleth Maps: A Question of How Many Classes. *Cartographica*, 32 (4), S. 15–27
- Cromley, R.; Zhang, S.; Vorotyntseva, N. (2015): A concentration-based approach to data classification for choropleth mapping. *International Journal of Geographical Information Science*, 29 (10), S. 1845–1863
- Csillag, F.; Kabos, S.; Rimmel, T. (2008): A spatial clustering perspective on autocorrelation and regionalization. *Environmental and Ecological Statistics*, 15 (4), S. 385–401
- Duque, J. C.; Ramos, R.; Suriñach, J. (2007): Supervised Regionalization Methods: A Survey. *International Regional Science Review*, 30 (3), S. 195–220
- Edler, D., Edler, S.; Dickmann, F. (2015): Eine empirische Studie zu Effekten von simulierter Grünblindheit (Deuteranopie) auf das kartenbasierte Positionsgedächtnis. *Kartographische Nachrichten*, 65 (4), S. 183–194.
- Egbert, S.; Slocum, T. (1992): EXPLOREMAP: An Exploration System for Choropleth Maps. *Annals of the Association of American Geographers*, 82 (2), S. 275–288
- Eicher, C.; Brewer, C. (2001): Dasymetric Mapping and Areal Interpolation: Implementation and Evolution. *Cartography and Geographic Information Science*, 28(2), S. 125–138
- Hake, G.; Grünreich, D.; Meng, L. (2002): *Kartographie*. De Gruyter: Berlin
- Harrower, M.; Brewer, C. A. (2003): ColorBrewer.org: an online tool for selecting colour schemes for maps. *The Cartographic Journal*, 40 (1), S. 27–37
- Harrower, M. (2007): Unclassed Animated Choropleth Maps. *The Cartographic Journal*, 44 (4), S. 313–320
- Hruby, F. (2015): Vom analogen Atlas zum cloud-basierten Atlassing. *Kartographische Nachrichten*, 65 (5), S. 265–271
- Jenks, G.; Caspall, C. (1971): Error on choropleth maps: definition, measurement, reduction. *Annals of the Association of American Geographers*, 61 (2), S. 217–244
- Jenny, B.; Kelso, N. V. (2007): Colour design for the color vision impaired. *Cartographic Perspectives*, (58), S. 61–67
- Kaspar, S.; Fabrikant, S.; Freckmann, P. (2011): Empirical study of cartograms. *Proceedings of the 25th International Cartographic Conference*. [In digitaler Form: <http://goo.gl/R4gDnz>]
- Kirchner, T.; Pflanz, F.; Techen, A.; Wagenknecht L. (2014): Kleinräumige Gliederung, Georeferenzierung und Rasterdarstellung im Sensus. *Zeitschrift für amtliche Statistik*, 2014 (3), S. 28–32
- Kraak, M.-J.; Ormeling, F. (2010): *Cartography: Visualization of Geospatial Data*. Pearson Education: Harlow
- Kuhn, T. (1970): *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press
- Kumar, N. (2004): Frequency Histogram Legend in the Choropleth Map: A Substitute to Traditional Legends. *Cartography and Geographic Information Science*, 31 (4), S. 217–236
- Leonowicz, A. (2006): Two-variable choropleth maps as a useful tool for visualization of geographical relationship. *Geografija*, 42 (1), S. 33–37
- MacEachren, A. (2004): *How Maps Work*. The Guilford Press: New York
- Martin, D. (1989): Mapping Population Data from Zone Centroid Locations. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 14 (1), S. 90–97
- NISRA, Northern Ireland Statistics and Research Agency (2015): *Digital Products*: <http://www.nisra.gov.uk/geography/IGkm.htm>
- Monmonier, M. (1991): *Ethics and Map Design*. *Cartographic Perspectives*, 10, S. 3–8
- Monmonier, M. (1996): *How to Lie With Maps*. The University of Chicago Press: Chicago
- Palsky, G. (2008): Connections and exchanges in European thematic cartography. The case of 19th century choropleth maps. *Belgeo*, 2008 (3–4), S. 413–426
- Perdue, N. (2013): The Vertical Space Problem: Re-thinking Population Visualizations in Contemporary Cities. *Cartographic Perspectives*, 74, S. 9–28
- Perkins, Ch.; Dodge, M.; Kitchin, R. (2011): *Cartographic Aesthetics and Map Design*. In: M. Dodge, R. Kitchin und Ch. Perkins (Hrsg.): *The Map Reader: Theories of Mapping Practice and Cartographic Representation*. Wiley: Chichester, S. 194–200
- Peterson, G. (2009): *GIS cartography: a guide to effective map design*. CRC Press: Boca Raton
- Petrov, A. (2012): One Hundred Years of Dasymetric Mapping: Back to the Origin. *The Cartographic Journal*, 49 (3), S. 256–264
- Rase, W. D. (2000): Darstellung von immateriellen Oberflächen in der großräumigen Planung. *Kartographische Nachrichten*, 50 (1), S. 10–17
- Reyes Nuñez, J.; Juhász, B. (2015): Hungarian survey on the use of cartograms in school cartography. *International Journal of Cartography*, 1 (1), S. 5–17
- Robinson, A. H.; Morrison, J. L.; Muehrcke, P. C.; Kimerling, A. J.; Guptill, S. C. (1995): *Elements of Cartography*. Wiley: Hoboken
- Roth, R., Woodruff A.; Johnson, Z. (2010): Value-by-alpha Maps: An Alternative Technique to the Cartogram. *The Cartographic Journal*, 47 (2), S. 130–140
- Scholz, J.; Andorfer, M.; Mittlboeck, M. (2013): Spatial Accuracy Evaluation of Population Density Grid Disaggregations with Corine Landcover. In: D. Vandenbroucke, B. Bucher und J. Crompvoets (Hrsg.): *Geographic Information Science at the Heart of Europe*. Berlin: Springer, S. 267–283
- Slocum, T. A.; McMaster, R. B.; Kessler, F. C.; Howard, H. H. (2009): *Thematic cartography and geovisualization*. Prentice Hall: New Jersey
- Statistics Denmark (2015): *The National Square Grid V.2*. In digitaler Form: <http://goo.gl/creeNA>
- Steinrücken, J.; Plümer, L. (2013). Identification of optimal colours for maps from the web. *The Cartographic Journal*, 50 (1), S. 19–32
- Stewart, J.; Kennelly, P. (2010): Illuminated Choropleth Maps. *Annals of the Association of American Geographers*, 100 (3), S. 513–534.
- Sun, H.; Li, Z. (2010): Effectiveness of Cartogram for the Representation of Spatial Data. *The Cartographic Journal*, 47 (1), S. 12–21
- Sun, S. (2015): A perception-based color recommendation algorithm for hierarchical regions. *Cartography and Geographic Information Science*, 42 (3), S. 259–270
- Tobler, W. (1970): A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, S. 234–240
- Tobler, W. (1973): Choropleth Maps Without Class Intervals. *Geographical Analysis*, 3, S. 262–265
- Tufte, E. (1990): *Envisioning Information*. Graphics Press: Cheshire
- Tyner, J. (2010): *Principles of map design*. The Guilford Press: New York

Über den Autor

Dr. Florian Hruby ist Kartograph an der National Commission for Knowledge and Use of Biodiversity (CONABIO) in Mexiko-Stadt; Lektor am Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Wien; Mitherausgeber von meta-carto-semiotics – Journal for Theoretical Cartography

Manuskript eingereicht am 1.1.2016
Nach Review angenommen am 20.2.2016

Anzeige

Besuchen Sie uns am 64. Deutschen
Kartographentag in Potsdam



OCAD[®]
the smart software
for cartography



**OCAD 12 Mapping Solution – Effizient für
professionelle Kartenherstellung**

OCAD ThematicMapper	OCAD 12 Professional
<ul style="list-style-type: none"> • Schritt-für-Schritt-Assistenten für thematische Karten • 17 Visualisierungstypen • Smarte Legenden • Automatisierung mit XML-Skript 	<ul style="list-style-type: none"> • Multi-Representation • Unregelmässige Muster für Flächensymbole • Generalisierungs-Tools • Smarte Editing-Tools

mehr unter www.ocad.com