

Graphischer Netzentwurf für Weltkarten mit Flex Projector

Graphic Map Projection for World Maps with Flex Projector

Bernhard Jenny, Zürich; Tom Patterson, Harpers Ferry (WV, USA);
Lorenz Hurni, Zürich

Der Entwurf neuer Kartennetze hat bis anhin Fachwissen in spezialisierter Mathematik vorausgesetzt und war deshalb einer kleinen Gruppe von Experten vorbehalten. Am Institut für Kartografie der ETH Zürich wurde eine neue digitale Methode entwickelt, die es Kartographen erlaubt, auf einfache Weise neue Netze für Weltkarten zu gestalten. Ein neuer Netzentwurf wird in einer graphischen Umgebung interaktiv in einem iterativen Prozess hergeleitet. Die Darstellung der Kontinente und des Kartennetzes kann laufend graphisch und numerisch überprüft und optimiert werden. Dazu wurde Flex Projector entwickelt, eine freie und quelloffene Software, die auf den Entwurf von neuen Netzen für Weltkarten ausgerichtet ist (www.flexprojector.com). Die spezialisierten Werkzeuge in Flex Projector werden durch Visualisierungen und numerische Indikatoren vervollständigt, welche die unvermeidlichen Winkel- und Flächenverzerrungen aufzeigen und helfen, das Kartennetz zu optimieren.

■ Schlüsselbegriffe: Kartennetzentwurf, Software, Weltkarten

The design of new map projections has up until to now required specialized mathematical knowledge and was therefore reserved to a small group of experts. To change this situation, Institute of Cartography, ETH Zurich, has developed a new digital method offering cartographers a simple way to design new world map projections. A new projection is developed iteratively within an interactive graphical environment. The representation of the continents and the shape of the graticule can be verified and improved using graphical and numerical tools in Flex Projector. This software application is open-source and available for free (www.flexprojector.com). The design tools in Flex Projector work in tandem with specialized visualizations and numerical indices that help optimize the graticule by illustrating the inevitable angular and areal distortions.

■ Keywords: map projection, software, world maps

1 Einleitung

Der Entwurf neuer Kartennetze war bisher einigen wenigen Spezialisten vorbehalten, die über das notwendige mathematische Fachwissen verfügten. Die graphische Methode, die in diesem Beitrag dargestellt wird, basiert auf einer benutzerfreundlichen Software namens *Flex Projector*. Diese Software zielt darauf ab, den Entwurf neuer Kartenabbildungen zu vereinfachen und interessierten Kartographen zugänglich zu machen. Mit *Flex Projector* wird ein Kartennetz in einem iterativen graphischen Ansatz

entworfen, wobei die Verzerrungen des neuen Netzes mit spezialisierten Visualisierungen und interaktiven Werkzeugen evaluiert werden. Die Leitidee bei der Entwicklung dieses graphisch interaktiven Ansatzes war, dass bei der Auswahl einer geeigneten Abbildung nicht nur Verzerrungseigenschaften, sondern vor allem auch die Form und das Erscheinungsbild des Netzes und der großen Landmassen einen wesentlichen Einfluss haben.

Kartennetzentwürfe für kleinmaßstäbliche Weltkarten sind heute oft vermittelnde Abbildungen, d. h., sie sind weder flächen- noch winkeltreu. Flächentreue ist

für gewisse kartographische Anwendungen durchaus sinnvoll und wurde deshalb in der Vergangenheit lange als die wichtigste Eigenschaft für Weltkarten erachtet. In letzter Zeit sind jedoch vermehrt vermittelnde Abbildungen angewendet worden, vor allem weil mit ihnen die Form der Kontinente besser erhalten bleibt (Canters, 2002, S. 57). Eine weitere Eigenschaft vieler kleinmaßstäblicher Weltkarten ist, dass sie mit unechten zylindrischen Abbildungen gezeichnet werden, d. h., die Meridianbilder sind im Gegensatz zu echten Zylinderabbildungen gekrümmte Linien.

2 Die Robinson-Abbildung

Der hier vorgestellte Ansatz wurde inspiriert von der Idee Arthur H. Robinsons, der den gleichnamigen Netzentwurf konstruiert hat. 1961 wurde er von Rand McNally beauftragt, eine neue Abbildung für Atlanten und Wandkarten zu entwerfen, welche unter anderem die Kontinente mit minimalen Verzerrungen zeigen sollte (Robinson, 1974). Robinson hatte eine sehr einfache Idee für seinen Entwurf: Statt eine mathematische Abbildungsgleichung für die Umrechnung von Länge und Breite auf der Kugel zu ebenen x - y -Koordinaten auf der Karte zu entwickeln, legte er zwei Tabellen mit Parametern durch systematisches Ausprobieren fest. Die erste Tabelle bestimmt die Länge der Breitenkreisbilder im Abstand von fünf Grad zunehmender Breite (Abb. 1, horizontale Pfeile); die zweite Tabelle definiert

die Abstände aller Breitenkreisbilder vom Äquator, ebenfalls in Schritten von fünf Grad (Abb. 1, vertikale Pfeile). Um Längen und Breiten zwischen den Fünf-Grad-Schritten zu berechnen, wird ein Interpolationsverfahren angewendet. Robinson (1974) hat es leider versäumt anzugeben, welches mathematische Interpolationsverfahren er für seine Abbildung verwendet hat, was zu inkompatiblen Implementierungen in verschiedener Software geführt hat (Jenny et al., 2010).

Robinson hat seine unechte zylindrische Abbildung in einem iterativen Prozess entworfen, indem er jeweils das Erscheinungsbild und die Größenverhältnisse der Landmassen beurteilte und darauf folgend notwendige Korrekturen an den zwei Tabellen vornahm. Diese Prozedur aus graphischer Beurteilung und anschließender Korrektur der Parameter wurde so lange wiederholt, bis nach Robinsons Meinung keine weitere Verbesserung mehr möglich war (Robinson, 1974, S. 151 f.). Die „Robinson Projection“ zählt zu den am meisten angewendeten Abbildungen für kleinmaßstäbliche Weltkarten. So wurde sie beispielsweise eine Zeit lang von der National Geographic Society als Standard verwendet (Garver, 1988).

3 Flex Projector

Arthur Robinson hätte seine Kartenabbildung wesentlich einfacher mit Hilfe von Flex Projector entwerfen können. Die graphische Benutzeroberfläche erlaubt

es dem Anwender, die Länge der Breitenkreisbilder und deren Abstände vom Äquator visuell zu bestimmen – wie es Arthur Robinson vor 50 Jahren tat. Der neue Kartennetzentwurf wird unmittelbar auf ein regelmäßiges Gradnetz und einen Datensatz mit Küstenlinien angewendet und so auf dem Bildschirm dargestellt. Der vorgestellte Ansatz erweitert jedoch Robinsons Methode um die Möglichkeit, Breitenkreise konkav oder konvex zu krümmen, ähnlich der verbreiteten Winkel-Tripel-Abbildung. Zudem können auch die Meridianbilder mit unregelmäßigen Abständen platziert werden.

Flex Projector wurde mit der Programmiersprache Java geschrieben und ist deshalb auf allen gängigen Betriebssystemen lauffähig. Die Software ist gratis erhältlich (www.flexprojector.com) und der Quellcode ist offen für Anpassungen. Es werden kubische Splines verwendet, um zwischen den Tabellenwerten zu interpolieren – der Benutzer der Software wird jedoch mit diesen mathematischen Details nicht konfrontiert. Ziel der Entwicklung war es, eine möglichst einfach zu erlernende Oberfläche zu gestalten.

Wird Flex Projector gestartet, erscheint eine Oberfläche, die aus drei Teilen besteht (Abb. 2). Der obere linke Bereich zeigt eine Weltkarte, die anfangs mit Robinsons Abbildung dargestellt wird. Rechts daneben steht eine Reihe von Slidern zur Verfügung, mit denen sich die Parameter der Abbildung individuell bestimmen lassen. Werden in diesem Bereich Änderungen vorgenommen, passt sich die Weltkarte entsprechend an. Die Abbildung ist dann nicht mehr diejenige Robinsons, sondern es entsteht ein neuer Netzentwurf. Wird in Abbildung 2 rechts die Länge eines Breitenkreisbildes geändert (Abb. 2-A), passt sich das Netz an (Abb. 2-B). Unterhalb der Karte vergleicht eine Tabelle in Echtzeit die Verzerrungsindizes der neuen Abbildung mit anderen bestehenden Abbildungen (Abb. 2-C). Die Funktionsweise der graphischen Oberfläche und das dahinter versteckte mathematische Modell werden in Jenny et al. (2008 u. 2010) beschrieben.

Um ein Netz zu ändern, stehen vier Gruppen von variablen Parametern zur Verfügung. Die Einstellungen definieren

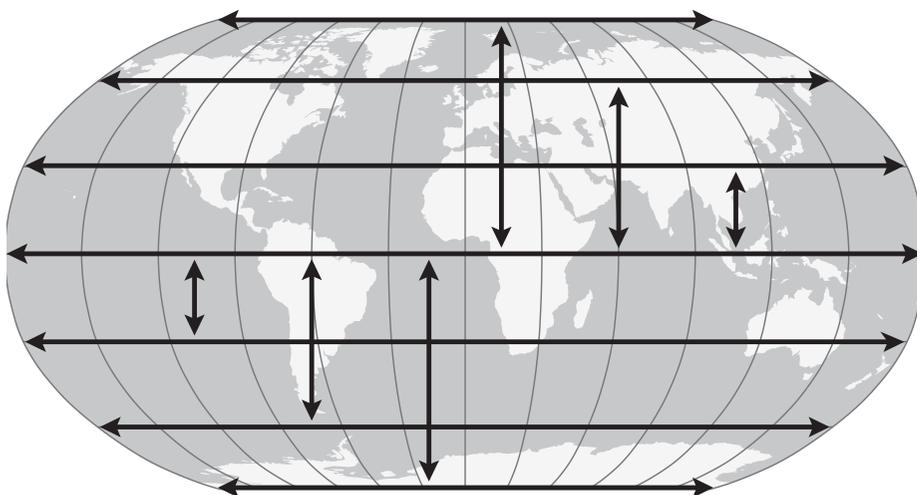


Abb. 1: Zwei Parametertabellen definieren die Robinson-Abbildung. Die Längen der horizontalen und vertikalen Pfeile bestimmen die Längen der Breitenkreisbilder und deren Abstände vom Äquator. (Hier sind nur einige wenige Parameter als Pfeile dargestellt.)

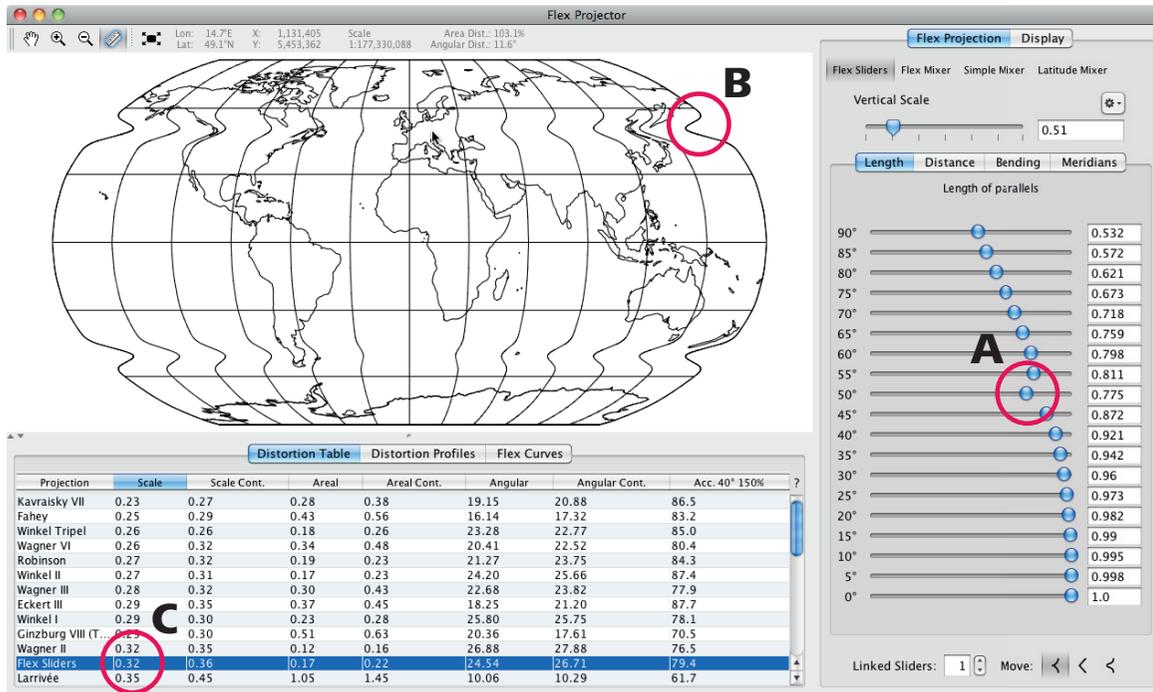


Abb. 2: Werden Änderungen an der graphischen Benutzeroberfläche (A) vorgenommen, ändert sich das Netz der Karte (B) und die Verzerrungsindeizes in der Tabelle (C) werden neu berechnet.

die Erscheinung des Nordost-Quadranten des Netzes, der horizontal und vertikal gespiegelt wird, um das ganze Netz zu berechnen. Die vier Parametergruppen bestimmen die Längen der Breitenkreisbilder (wie in Abb. 1), die Abstände der Breitenkreisbilder vom Äquator, die konvexe oder konkave Krümmung der Breitenkreise und die horizontale Verteilung der Meridianbilder.

Das Seitenverhältnis des entstehenden Netzes kann ebenfalls angepasst werden (*Vertical Scale* oben rechts in Abb. 2). Es hat einen erheblichen Einfluss auf die graphische Erscheinung und die Verzerrungseigenschaften. Ein weiterer wählbarer Parameter ist ein interner Skalierungsfaktor, der unabhängig vom nominalen Maßstab (z. B. 1:30 Mio.) der Karte ist. Ein solcher interner Skalierungsfaktor ist in den Abbildungsgleichungen verschiedener Kartennetze als Konstante vorhanden (z. B. in einigen Abbildungen von *Eckert*, *Putinš* oder *Wagner*). *Robinson* wählte für seine Abbildung den internen Skalierungsfaktor so, dass die Fläche des gesamten Kartennetzes gleich der Fläche der Erdkugel wurde.

Flex Projector bietet nun weitere Auswahlmöglichkeiten: Der Wert des internen Skalierungsfaktors kann

- (a) frei gewählt werden,
- (b) automatisch nach dem Prinzip *Robinsons* berechnet werden,

- (c) so gewählt werden, dass ein wählbarer Punkt ohne Flächenverzerrung abgebildet wird, oder
- (d) automatisch berechnet werden, so dass die gesamthafte Flächenverzerrung (nach Gleichung 1) minimiert wird.

Mit den Möglichkeiten von *Flex Projector* können sehr verschiedene Kartennetze entworfen werden. Hierzu gehören jedoch keine zerlappten, mehrpoligen Netze (*interrupted projections*) oder schiefachsigen Netze. Auch sind alle Netze zum Äquator und dem Mittelmeridian symmetrisch. *Flex Projector* verwendet ein sphärisches Erdmodell, da ein Ellipsoid die Geometrie für kleinmaßstäbliche Weltkarten nicht merkbar ändern würde.

Die Benutzeroberfläche von *Flex Projector* bietet einige zusätzliche Besonderheiten, um die Arbeit zu vereinfachen. Mit der Option *Linked Sliders* (Abb. 2 rechts unten) können mehrere Schieber miteinander gekoppelt werden, d. h., der Benutzer ändert einen einzigen Slider und die Nachbarn ändern sich mit. Wird die Anzahl der gekoppelten Schieber erhöht, ergeben sich gleichmäßigere Änderungen. Die Gewichte der gekoppelten Slider nehmen mit ihrer Distanz vom zentralen Slider unter dem Mauszeiger ab. Der Verlauf dieser Gewichtung lässt sich exponentiell, linear oder glockenförmig abnehmend anpassen.

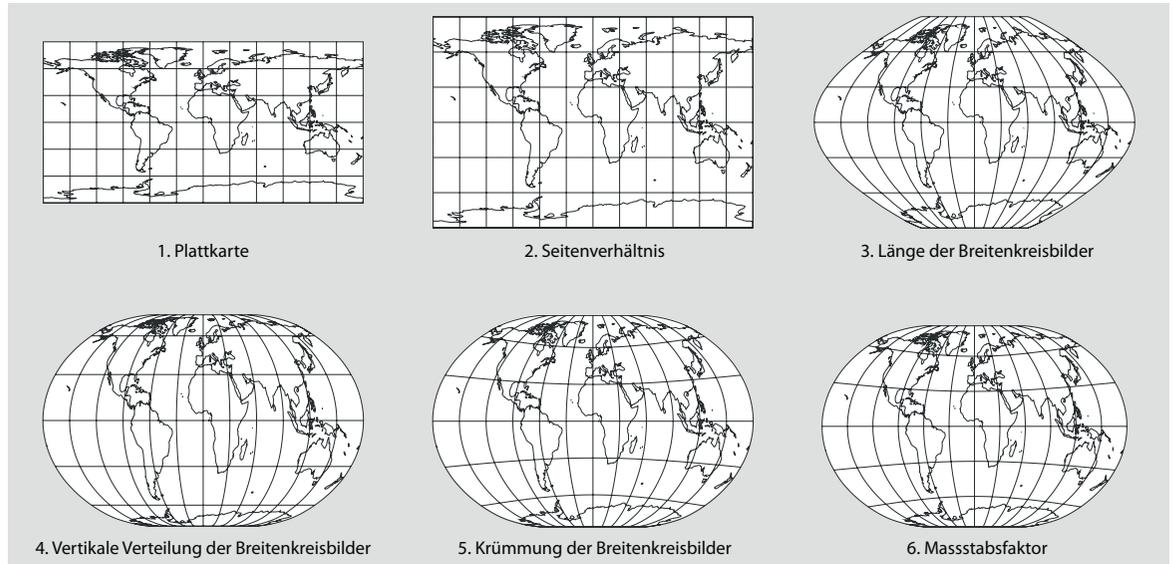
Oft ist es einfacher, von einer bestehenden Abbildung auszugehen, die der beabsichtigten neuen Abbildung schon ähnlich ist. *Flex Projector* bietet dazu eine Auswahl an gängigen Abbildungen, aus denen eine zur Initialisierung der verschiedenen oben erwähnten Parameter gewählt werden kann. Dabei werden die verschiedenen Parameter (z. B. die Länge der Breitenkreisbilder) automatisch so gut wie möglich an die Vorlage angepasst. Eine zweite Abbildung kann auch im Hintergrund der Kartenansicht angezeigt werden. Damit lässt sich ein neu gestaltetes Netz mit einem ähnlichen, schon bestehenden Netz vergleichen.

Schließlich können Vektor-, Raster- und Höhendaten in verschiedenen Formaten mit *Flex Projector* importiert, umprojiziert und wieder exportiert werden. Auch die Parameter, die das Netz definieren, lassen sich in ein Textformat ausgeben und wieder einlesen.

4 Der A4-Kartennetzentwurf als Beispiel

Um das Vorgehen mit *Flex Projector* zu illustrieren, wird hier ein Netzentwurf mit dem Namen A4 vorgestellt. Ausgehend von der Plattkarte werden die verschiedenen Schritte aufgezeigt, die zur fertigen Abbildung führen. Das Netz der A4-Abbildung ist in den Proportionen, den Pollinien

Abb. 3: Der Weg von der Plattkarte zum A4-Netzentwurf



und den gebogenen Breitenkreisbildern der Winkel-Tripel-Abbildung ähnlich. Ziel war es, ein Netz zu entwerfen, das Papierformate der DIN-A-Reihe im Querformat passend ausfüllt. Die A4-Abbildung wurde in sechs Schritten hergeleitet (Abb. 3):

Zuerst wurde das Netz mit der Plattkarte initialisiert (Abb. 3, Schritt 1). Dann wurde das Verhältnis zwischen Höhe und Breite von 1:2 zu 0,655 geändert, um das Netz an die Proportionen der DIN-A-Reihe anzupassen (2). Als Nächstes wurden die Breitenkreisbilder geändert. Dieser Schritt benötigte mehrere Versuche und kleine Anpassungen, bis die Meridiane als gleichmäßig gebogene Linien erschienen (3). Anschließend wurde für die polnahen Breitenkreise die Distanz vom Äquator reduziert, um die Flächenverzerrungen an den Polen zu verkleinern (4). Die Breitenkreise wurden danach etwas gebogen, um die Nord-Süd-Ausdehnung von Afrika und Südamerika zu verringern. Dabei wurden die Pollinien jedoch gerade belassen (5). Zum Schluss wurde der interne Skalierungsfaktor reduziert, um die gesamthafte

Flächenverzerrung zu minimieren (6). Der fertige A4-Netzentwurf ist in Abbildung 3 rechts unten dargestellt.

Die vereinfachte Beschreibung in sechs Schritten ist in Wirklichkeit um einiges aufwendiger. In einem iterativen Prozess werden die Form des Netzes und der großen Landmassen nach jeder Änderung beurteilt und die Verzerrungseigenschaften mit Hilfe von Verzerrungsellipsen, Verzerrungsisolinien und anderen nachfolgend beschriebenen Werkzeugen analysiert. Änderungen an der Geometrie müssen häufig rückgängig gemacht werden, wofür Flex Projector eine Undo-Redo-Funktion bietet.

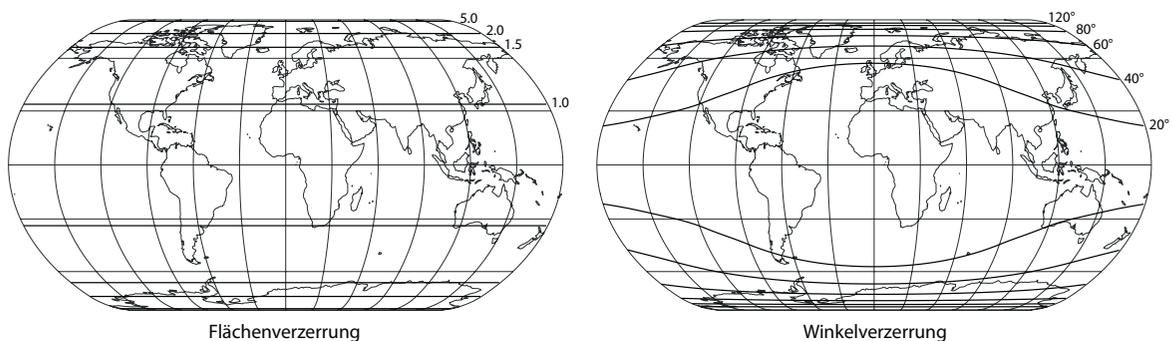
Auch würde man wohl eher nicht mit der Plattkarte als Ausgangsnetz beginnen, sondern mit einem Netz, das dem anvisierten Resultat ähnlicher ist. Für die A4-Abbildung hätte auch die Winkel-Tripel-Abbildung verwendet werden können, wodurch sich die Schritte 1 bis 4 vereinfacht hätten. Die Parameter zur Definition der Geometrie der A4-Abbildung finden sich in Jenny et al. (2008).

5 Methoden zur Bewertung eines Kartennetzes

Die graphische Erscheinung der Kontinente und des Gradnetzes aus Längen- und Breitenlinien sollte das hauptsächliche Kriterium zur Beurteilung einer neuen Abbildung sein. Dieser subjektive Ansatz zur Evaluation und Auswahl eines Kartenentwurfs sollte mit objektiveren Beurteilungskriterien ergänzt werden, z. B. numerischen Indizes oder graphischen Werkzeugen. Das Entwerfen eines neuen Kartennetzes mit Flex Projector ist ein iterativer Prozess, bei dem die graphische Erscheinung und die Verzerrungseigenschaften der Abbildung gleichermaßen laufend beurteilt werden sollten. Um den Kartographen bei der Gestaltung einer neuen Abbildung zu unterstützen, werden in Flex Projector spezialisierte Visualisierungen, interaktive Werkzeuge und tabellarische Indizes angeboten, die die Bewertung vereinfachen und beschleunigen.

Bewährte graphische Mittel sind die Verzerrungsellipsen nach Tissot, Isolinien

Abb. 4: Isolinien gleicher Flächenverzerrung (links) und Isolinien gleicher maximaler Winkelverzerrung (rechts) für die Natural-Earth-Abbildung



gleicher Flächenverzerrung und Isolinien gleicher maximaler Winkelverzerrung. Als Beispiel zeigt Abbildung 4 Isolinien für das mit Flex Projector entworfene Natural Earth-Netz von Tom Patterson (Jenny et al., 2008).

Verschiedene globale Indizes sind in der Vergangenheit zur Beurteilung von Kartennetzen entwickelt worden, z. B. der *weighted mean error for areal distortion*, der *weighted mean error for overall scale distortion* und der *mean angular distortion index* (Canters und Declair, 1989; Canters, 2002). Dabei werden zur Berechnung dieser Indizes zuerst über das gesamte Netz verteilt Verzerrungswerte bestimmt und anschließend durch Integration zu einem Mittelwert zusammengefasst. Nach Canters und Declair (1989) ist allerdings der *weighted mean error for overall scale distortion* der einzige Index, der Winkel- und Flächenverzerrungen auf befriedigende Weise integriert. Eine interessante Erweiterung ist der im nächsten Abschnitt vorgestellte Q-Index von Richard Čapek (2001), der Flächen- und Winkelverzerrungen auf eine alternative Weise zusammenfasst.

Flex Projector berechnet automatisch alle erwähnten Indizes nach jeder Änderung am gerade entstehenden Kartennetz. Die Indizes des neuen Netzes und diejenigen einer Reihe bestehender Netze werden automatisch geordnet, was einen schnellen Vergleich erlaubt. Die Indizes sind ein durchaus brauchbares Mittel, um Abbildungen zu vergleichen; es muss jedoch erwähnt werden, dass sie mit Vorsicht zu interpretieren sind, da die Reihenfolge der verschiedenen Abbildungen stark vom gewählten Index abhängt (Canters, 2002).

6 Der Akzeptanz-Index A

Richard Čapeks Q-Index fasst die Winkel- und die Flächenverzerrung einer Abbildung zusammen (Čapek, 2001). Die Grundidee ist, dass für jede Karte nur Verzerrungen bis zu einem gewissen maximalen Wert akzeptiert werden können. Um den Index zu bestimmen, legt Čapek zuerst ein regelmäßiges Gitter auf die Kugel mit einer Maschenweite von 1 Grad. Für jede Gittermasche j berechnet er

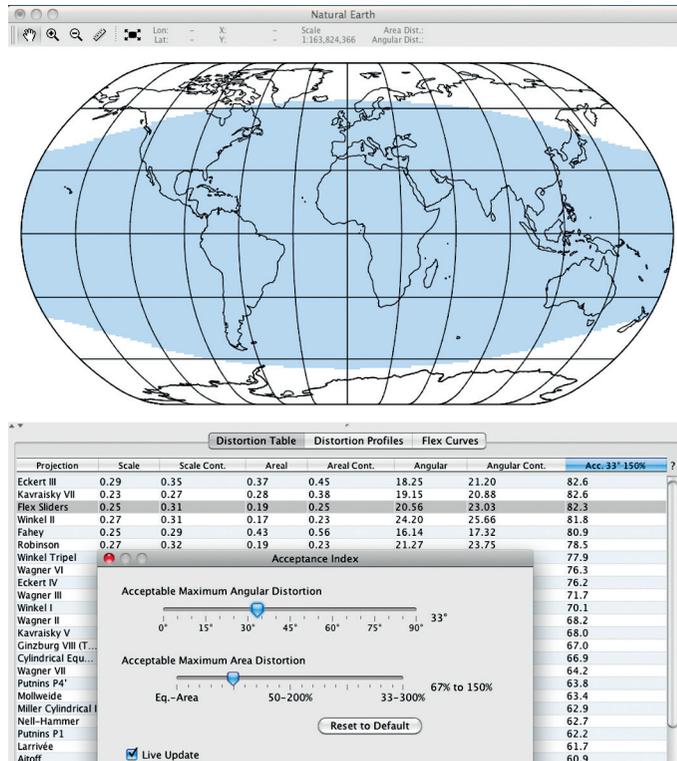


Abb. 5. Die Natural Earth-Abbildung mit Visualisierung der akzeptablen Verzerrungen mit $\omega_{acc} < 33^\circ$ und σ_{acc} zwischen 67 und 150 %

den Flächenverzerrungsfaktor σ_j und die maximale Winkelverzerrung ω_j (Gleichungen 1 und 2). Für jede Masche werden anschließend σ_j und ω_j mit maximal akzeptablen Verzerrungswerten verglichen. Čapek wählt 40° für die maximale akzeptable Winkelverzerrung und 150 % einer Referenzfläche als akzeptable Flächenverzerrung. Die Flächen der Maschen mit Verzerrungswerten kleiner als diese Schwellenwerte werden schließlich summiert und mit der Gesamtfläche gewichtet (Gleichung 3, mit ϕ_j als Breitenausdehnung der Gittermasche j).

$$\sigma_j = a_j b_j \tag{1}$$

a_j und b_j sind die Maßstabsfaktoren entlang der Halbachsen der Tissot'schen Indikatritz.

$$\omega_j = 2 \arcsin \frac{a_j - b_j}{a_j + b_j} \tag{2}$$

$$Q = \frac{\sum_{j=1}^m P_j \cos \phi_j}{\sum_{j=1}^m \cos \phi_j} \tag{3}$$

mit $P_j = 1$, wenn $\sigma_j < 1.5 \sigma_{min}$ und $\omega_j < 40^\circ$; andernfalls $P_j = 0$

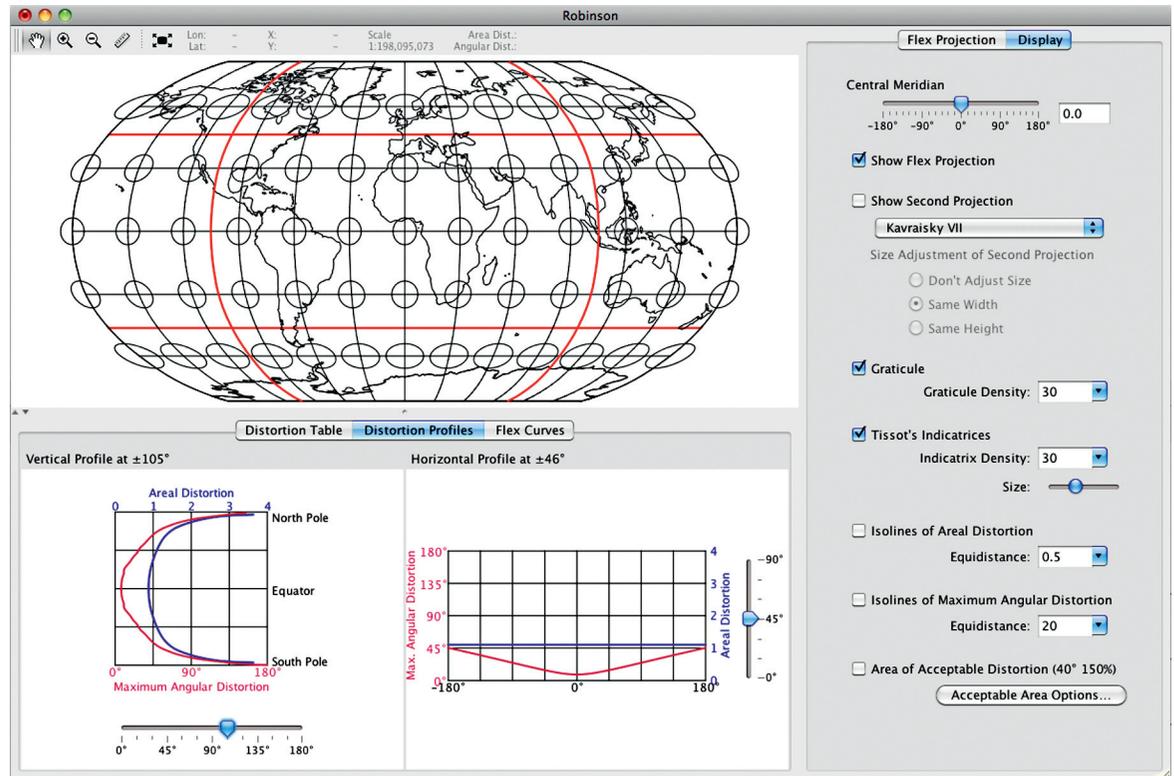
Um zu entscheiden, ob eine Flächenausdehnung akzeptabel ist, verwendet Čapek den kleinsten im Gitter vorkommenden

Wert σ_{min} als Referenz. Das macht den Q-Index anfällig für Netze mit sehr starker Flächenkomprimierung. Abbildungen, die einen kleinen Teil des Netzes sehr stark komprimieren, werden mit einem tiefen Q-Index benotet, auch wenn die Flächenverzerrung insgesamt gesehen moderat ist. Die Autoren schlagen deshalb einen modifizierten Akzeptanz-Index A vor, der sich von Čapek Q-Index dadurch unterscheidet, dass σ_{min} gleich 1 ist und dass die Schwellenwerte für akzeptable Winkelverzerrung ω_{acc} und Flächenverzerrung σ_{acc} vom Benutzer wählbar sind (Gleichung 4). Außerdem gibt der Akzeptanz-Index A einer Flächendehnung um den Faktor σ_{acc} und einer Flächenkomprimierung um $1/\sigma_{acc}$ das gleiche Gewicht. Wird beispielsweise σ_{acc} gleich 2 gewählt, sind Flächenverzerrungen bis zu einer Dehnung um 200 % und einer Komprimierung um 50 % noch akzeptabel.

$$A = \frac{\sum_{j=1}^m P_j \cos \phi_j}{\sum_{j=1}^m \cos \phi_j} \tag{4}$$

mit $P_j = 1$ für $\sigma_j \in \left[\frac{1}{\sigma_{acc}}; \sigma_{acc} \right]$ und $\omega_j < \omega_{acc}$; andernfalls $P_j = 0$

Abb. 6: Verzerrungsprofile für Robinsons Entwurf. Die roten Linien in der Karte zeigen die geographische Position der Profile unten. Zusätzlich sind Verzerrungs-ellipsen nach Tissot eingeblendet.



7 Räumliche Visualisierung der akzeptablen Verzerrungen

Akzeptanzwerte können auch räumlich dargestellt werden. Abbildung 5 zeigt entsprechend akzeptable Gebiete für das *Natural-Earth*-Kartennetz. Für dieses Beispiel wurden eine maximal akzeptable Winkelverzerrung von 33° und eine maximal akzeptable Flächenverzerrung von 150 % gewählt. Die blau eingefärbte Fläche zeigt, wo Winkel- und Flächenverzerrung nach Gleichung 1 und 2 kleiner als diese Schwellenwerte sind. Ein Pixel wird eingefärbt, wenn P_j , wie in Gleichung 4 definiert, gleich 1 ist. Die Visualisierung passt sich in Echtzeit an, während vom Benutzer die Akzeptanzwerte geändert werden oder die Form eines neuen Kartennetzes modifiziert wird. Gleichzeitig werden die Schwellenwerte auch verwendet, um den Akzeptanz-Index A jedes Kartennetzes in der Tabelle (im Hintergrund von Abb. 5) neu zu berechnen und die Netze nach abnehmendem Wert zu sortieren.

Wir erwarten, dass der Akzeptanz-Index A und die verwendete Visualisierung von den Benutzern von *Flex Projector* einfach zu verstehen sind. Der Akzeptanz-Index A und die resultierende räumliche Visualisierung sind keine statischen Endprodukte,

sondern interaktive Werkzeuge, die es erlauben, die Verzerrungseigenschaften eines Kartennetzes zu untersuchen.

8 Verzerrungsprofile

Horizontale und vertikale Verzerrungsprofile sind ein weiteres Mittel, um die Verzerrungseigenschaften eines Netzes zu visualisieren und auch interaktiv zu untersuchen. Abbildung 6 zeigt einen Ausschnitt der Benutzeroberfläche in *Flex Projector* mit Verzerrungsprofilen entlang der Meridiane von 105° West und Ost und entlang von 45° Nord und Süd. Die geographischen Lagen der Profile sind mit roten Linien in der Karte markiert. Die Profile unterhalb der Karte zeigen die Flächen- und Winkelverzerrungen nach den Gleichungen 1 und 2 und werden in Echtzeit berechnet und dargestellt, während der Benutzer die Lage der Profile wählt.

9 Fazit

Wenn man in Betracht zieht, dass schon Hunderte von Kartennetzentwürfen existieren, kann die Frage gestellt werden, wozu es eine Anwendung wie *Flex Projector* braucht. Betrachtet man jedoch die Weltkarten in verbreiteten Atlanten, fällt

auf, dass nur eine relativ kleine Zahl verschiedener Kartennetze verwendet wird. Die Gründe dafür sind sehr unterschiedlich (*Jenny et al.*, 2008), nicht zuletzt spielen auch ganz simple Faktoren und Randbedingungen eine entscheidende Rolle, z. B. die persönlichen Vorlieben des Kartographen oder die Proportionen des zur Verfügung stehenden Platzes.

Im Vergleich zu gedruckten Atlanten ist die Situation bei Webkarten geradezu prekär. Nahezu 100 % aller Webkarten basieren auf Diensten wie Google, Bing oder Yahoo! Maps, die alle *Mercators* Kartennetzentwurf verwenden. Dies ist ohne Zweifel eine äußerst ungeschickte Wahl für eine Weltkarte, da die Landmassen in höheren Breiten extrem verzerrt werden und die Pole gar nicht gezeigt werden können. Es kann also festgestellt werden, dass der Kartenkonsument zurzeit nur eine sehr kleine Zahl an akzeptablen Netzentwürfen zu sehen bekommt.

Die Zielvorstellung bei der Entwicklung von *Flex Projector* war es, Kartographen ohne mathematisches Expertenwissen die Möglichkeit zu geben, neue Netze zu entwerfen, die zum Betrachten schön sind, aus kartographischer Sicht Sinn machen und vernünftige Verzerrungseigenschaften aufweisen. Indem der Kreis derer, die sich

für den Entwurf von Kartennetzen interessieren, erweitert werden kann, steigt vielleicht auch die Wahrscheinlichkeit, dass in Zukunft eine größere Zahl geeigneter Netze – auch im Internet – verwendet werden wird.

Den unbestreitbar besten Netzentwurf für Weltkarten wird es jedoch auch in Zukunft nicht geben können. Da Karten verschiedene Datentypen vermitteln und verschiedene Ziele bei der Visualisierung verfolgen, werden Kartographen auch immer unterschiedliche Netzentwürfe mit spezifischen Eigenschaften anwenden. Auch wenn eine Karte ein klar definiertes Visualisierungsziel hat, werden Kartographen bei der Wahl eines geeigneten Netzentwurfs immer unterschiedlicher Auffassung sein, da bei der Wahl – glücklicherweise – immer auch subjektive graphische Kriterien eine Rolle spielen.

Die hier vorgestellten Methoden sollen jedoch helfen, neue geeignete Netze zu entwerfen, die auf rationellen Kriterien basieren. Werkzeuge wie die Verzerrungsprofile, der Akzeptanz-Index *A* oder die räumliche Visualisierung der akzeptablen Verzerrungen können die objektive Bewertung und Auswahl von Netzentwürfen für kleinmaßstäbliche Weltkarten unterstützen. Kombiniert mit anderen bewährten Mitteln zur Verzerrungsvisualisierung, z. B. der Tissot'schen Indikatrix (Abb. 6) oder Isolinien gleicher Winkel- und Flächenverzerrungen (Abb. 4), ermöglichen diese Visualisierungen, zu einem Kompromiss zwischen der visuellen Form eines Kartennetzes und dessen Verzerrungseigenschaften zu kommen.

Danksagung

Die Autoren möchten sich herzlich bei Frank *Canters* (Vrije Universiteit, Brüssel), Daniel *Strebe* (Mapmathematics LTD), Rolf *Böhm* (Bad Schandau) und Hans *Walser* (Universität Basel) für ihre Hilfe bedanken. Auch danken wir dem Schweizerischen Nationalfonds SNF für die Förderung dieser Arbeit.

Literatur

Canters, F. (2002): Small-scale map projection design. Taylor & Francis, London.

Canters, F.; Declair, H. (1989): The World in perspective:

A directory of world map projections. John Wiley and Sons, Chichester.

Garver, J. B. (1988): New perspective on the world. National Geographic, 174(6), S. 910–913.

Jenny, B.; Patterson, T.; Hurni, L. (2008): Flex Projector—Interactive software for designing world map projections. Cartographic Perspectives, 59, S. 12–27

Jenny, B.; Patterson, T.; Hurni, L. (2010): Graphical design of world map projections. International Journal of Geographic Information Science, 24(11), S. 1687–1702.

Robinson, A. H. (1974): A new map projection: Its development and characteristics. In: International Yearbook of Cartography. Kirschbaum, G. M. u. Meine, K.-H. (Hg.), 14, S. 145–155, Kirschbaum, Bonn-Bad Godesberg.

Über die Verfasser: Bernhard *Jenny* ist Post-Doktorand am Institut für Kartografie und Geoinformation der ETH Zürich, E-Mail: jenny@karto.baug.ethz.ch ■ Tom *Patterson* ist Kartograph beim US National Park Service, Harpers Ferry, WV, USA, E-Mail: Tom_Patterson@nps.gov ■ Prof. Dr. Lorenz *Hurni* ist Vorsteher des Instituts für Kartografie und Geoinformation der ETH Zürich, E-Mail: LHurni@ethz.ch.

Manuskript, editor reviewed und invited, eingereicht und angenommen im Dezember 2010. Die Thematik ist beim Deutschen Kartographentag 2010 in Berlin vorgestellt worden. Teile des Beitrags sind in „Cartographic Perspectives“ und „International Journal of Geographic Information Science“ veröffentlicht worden (siehe Literatur).