Gustav Forstner und Markus Oehrli

# Graphische Darstellungen der Untersuchungsergebnisse alter Karten und die Entwicklung der Verzerrungsgitter

## Fehler alter Karten

Die Fehler alter Karten haben eine grosse Zahl unterschiedlicher Ursachen. Sie können grob in systematische Fehler, die mit der Lage und Orientierung der Karte bezüglich des geographischen Koordinatensystems zusammenhängen, und in zufällige Fehler, die bei der Aufnahme und Herstellung der Karte entstanden, eingeteilt werden. Die Grenze zwischen den beiden Fehlerarten ist allerdings fliessend. Zur Abschätzung der geometrischen Genauigkeit von alten Karten werden heute eine ganze Reihe verschiedener Methoden angewandt, die alle auf einem Vergleich von Messungen identifizierbarer Charakteristika der alten Karten mit ihren – als fehlerfrei angenommenen – heutigen Gegenstücken beruhen. Bereits im letzten Viertel des vorigen Jahrhunderts beschäftigten sich erste Untersuchungen mit der zahlenmässigen Bestimmung der Fehler alter Karten[1] und unter anderem auch mit dem Problem, den «Anlagefehler» der Karten vom «Gesamtfehler» getrennt zu erfassen,[2] doch wurden diese Überlegungen in der Folgezeit erst nach über vierzig Jahren wieder aufgenommen.[3]

Da es keine standardisierten Verfahren zur Bestimmung der Genauigkeit alter Landkarten gibt, werden die Ergebnisse in unterschiedlichen Masszahlen wie mittlerer Entfernungsfehler, relativer Entfernungsfehler, Standardabweichung, mittlerer Winkelfehler, Azimutabweichungen und so weiter ausgedrückt, was einen Vergleich der verschiedenen veröffentlichten Werte oft recht schwierig gestaltet oder sogar unmöglich macht. Ein weiterer Nachteil dieser Masszahlen ist ihre mangelnde Anschaulichkeit. Erst in neuerer Zeit wird verstärkt (ausser auf die schon früher verbreiteten Verzerrungsgitter) auch auf andere Methoden zur graphischen Darstellung von Fehlern zurückgegriffen. Gleich nachfolgend werden die bekannten Methoden kurz besprochen, danach befasst sich ein grösseres Kapitel mit der Entwicklung und Verwendung der Verzerrungsgitter. Als Anhang folgt eine Liste von graphischen Fehlerdarstellungen alter Karten. Nicht in den Anmerkungen aufgeführte Literatur ist dort zu finden.

## Kartometrische Methoden und deren graphische Darstellung

Die Darstellung der Ortslagefehler erfolgt oft durch Fehlervektoren (Abb. 1), beziehungsweise auch durch deren Komponen-

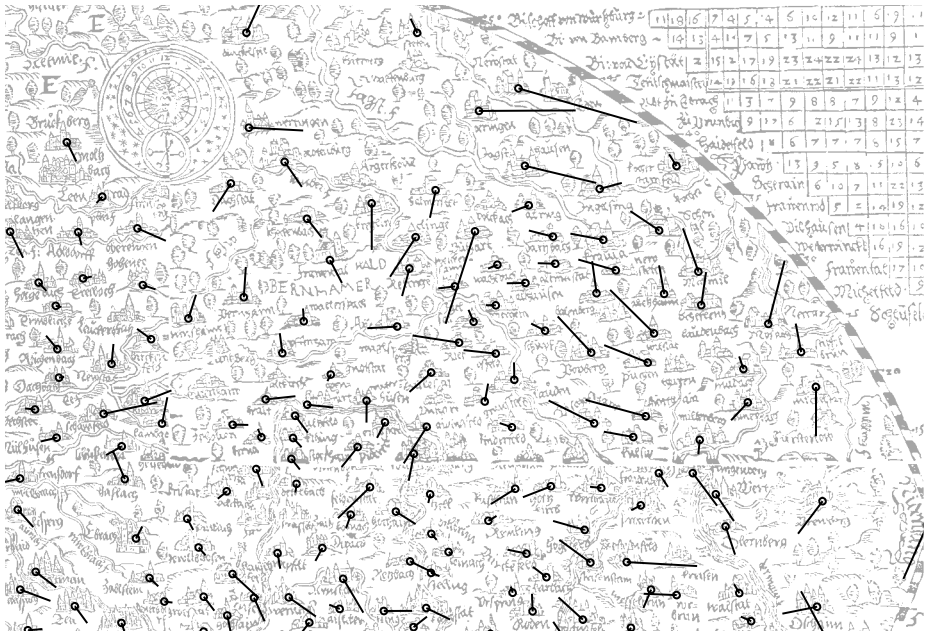

Abb. 1: Fehlervektoren. Vorgehen: Die Punkte einer alten Karte werden mittels einer Ähnlichkeitstransformation (z. B. einer Helmert-Transformation) in das Koordinatensystem einer modernen Karte überführt. Die tatsächlichen, das heisst heutigen, als fehlerfrei angenommenen Punktpositionen werden mit den fehlerhaften Positionen der alten Karte durch Fehlervektoren verbunden. Ergebnis: Felder von Fehlervektoren lassen sofort Grösse und vor allem die Orientierung der einzelnen Lagefehler erkennen. «Ausreisser» können gut erkannt werden. Interpretation: Sich stark voneinander unterscheidende Vektorfelder lassen Aussagen über die Kartenaufnahme oder eine Abgrenzung der benutzten Quellenkarten gegeneinander zu. (Seltzlin, David: Fränkischer Kreis von 1576; Abb. 3 und Text S. 40–41 in Brunner [1995]).

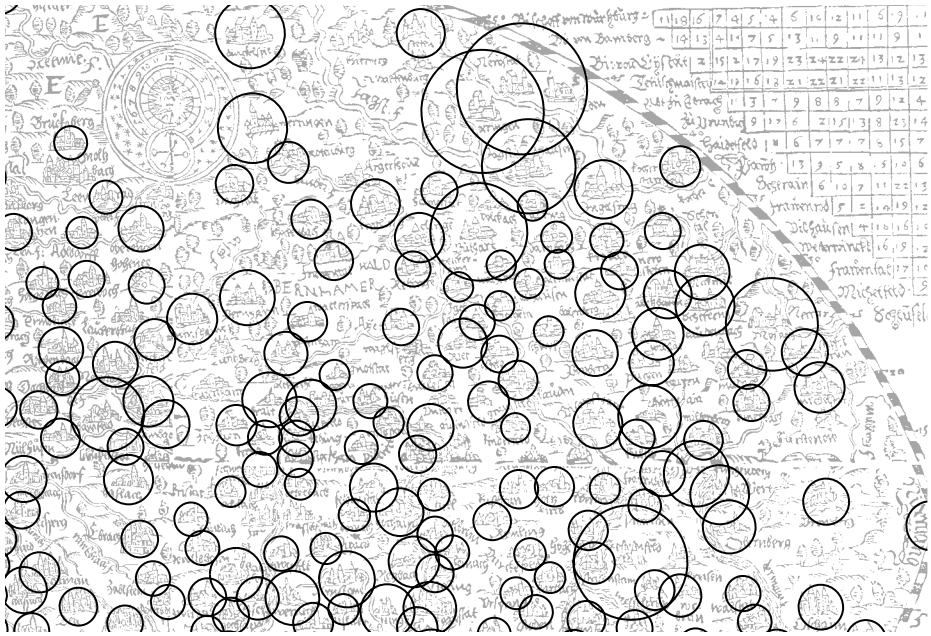

Abb. 2: Kreismethode. Vorgehen: Die Summen der relativen Distanzfehler aller Punkte in Bezug auf den betrachteten Punkt werden berechnet und als Kreise unterschiedlichen Durchmessers um die jeweilige Ortsposition gezeichnet. Ergebnis: Die Grösse des Kreises zeigt auf den ersten Blick die Ungenauigkeit der Punktlage. Interpretation: Grosse Fehler treten vor allem gegen den Kartenrand hin auf, diese Gebiete waren offenbar weniger genau bekannt oder es wurden eigentlich noch ausserhalb des Kartenbildes liegende Orte am Kartenrand untergebracht. Einzelne grosse Kreise inmitten des Kartenbildes scheinen auf lokal falsch eingepasste Orte hinzuweisen. (Seltzlin, David: Fränkischer Kreis von 1576; Abb. 5 und Text S. 40–41 in Brunner [1995]).

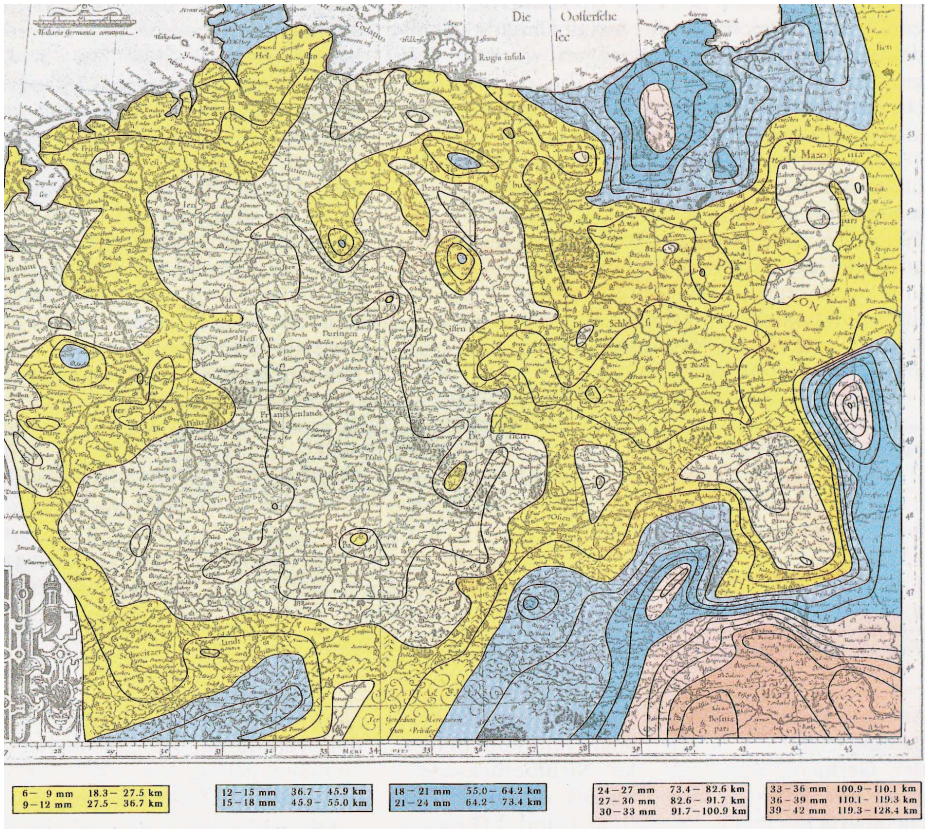


Abb. 3: Isodeformaten. Vorgehen: Aus den Punktlagefehlern von 505 Punkten werden Linien gleicher Restklaffungen (Isodeformaten) abgeleitet unter der Annahme, dass die Einzelergebnisse ein Kontinuum beschreiben. Die Äquidistanz beträgt hier 3 mm Restklaffungsdifferenz. Ergebnis: Im Zentrum der Karte sind die Restklaffungen relativ klein und homogen verteilt. Im Nord- und Südosten treten grosse Lagefehler auf. Interpretation: Karten mit Isodeformaten sollten, da diese nur die Fehlerbeträge berücksichtigen, nur in Zusammenhang mit den der Auswertung zugrunde liegenden Fehlervektoren (hier nicht dargestellt) beurteilt werden. In diesem Fall zeigen sie, dass die Vorlagen für die letztgenannten Gebiete wahrscheinlich fehlerhaft in die Germania-Karte eingepasst wurden, da die beiden Felder von etwa parallel verlaufenden und gleich langen Fehlervektoren auf in sich gut kartierte regionale Vorlagen hindeuten. (Mercator, Gerard: Germaniakarte von 1585; Abb. 4 und Text S. 226–227 in Mesenburg [1994]. Die zugrunde liegenden Fehlervektoren zeigt Abb. 5 auf Seite 230).

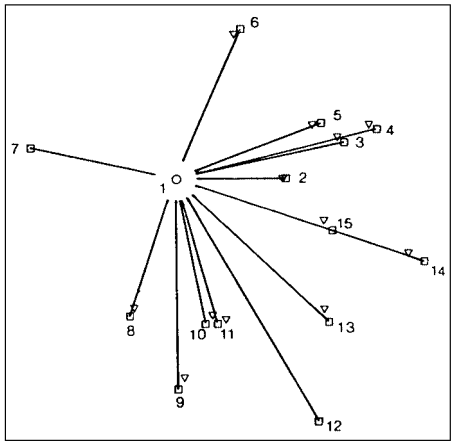


Abb. 4: Polarkoordinaten. Vorgehen: Die zu vergleichenden Karten werden auf einen identischen Punkt eingepasst und auf eine gemeinsame Ausgangslinie der Winkelmessungen hin orientiert. Ergebnis: Verdrehungen bezüglich des Zentralpunktes und Massstabsfehler sind gut erkennbar. Interpretation: Dies ist eine einfache Methode, um sich rasch einen Überblick über die Fehler eines begrenzten Ausschnittes einer alten Karte zu verschaffen. (Deventer, Jacob van: Stadtplan von Amsterdam von ca. 1560; Abb. 3 und Text S. 22 in Brugman [1993], verkleinert).

ten, die Koordinatenfehler. Die Fehlervektoren verbinden die tatsächlichen, das heisst heutigen, als fehlerfrei angenommenen Positionen von Punkten mit jenen, mit denen sie auf der alten Karte dargestellt wurden. Zur Verbesserung der Anschaulichkeit können – zusätzlich zu den oder statt der Fehlervektoren – noch Isodeformaten in die Karten eingetragen werden, das sind jene Linien, die Punkte gleicher Fehlerbeträge miteinander verbinden (Abb. 3). Brugman (1993) zeigt eine Polarkoordinatendarstellung (Abb. 4).

Eine neue Methode zur anschaulicheren Darstellung der Ortslagefehler alter Karten wurde von Mekenkamp (1986) vorgestellt und unter dem Namen Kreismethode bekannt (Abb. 2). Dabei werden die Summen der relativen Distanzfehler aller Punkte in Bezug auf den betrachteten Punkt als Kreise unterschiedlichen Durchmessers um die jeweilige Ortsposition gezeichnet. Die theoretische Bearbeitung dieses Verfahrens erfolgte vor kurzem von Steiner (1994) im Rahmen einer Diplomarbeit.

Es ist jedoch zu fragen, ob bei umfangreicheren Untersuchungen, bei denen die Ortspositionen auf jeden Fall digitalisiert werden müssen, nicht die Restklaffungen nach einer Koordinatentransformation als Radius der die Ortslagefehler darstellenden Kreise verwendet werden sollten. Es wurde auch schon versucht, Verzerrungen bzw. Punktlagefehler durch Fehlerellipsen zu quantifizieren. Leider wurden von Ulbrich (1963) diese Ellipsen falsch dargestellt. Bei richtiger Berechnung und Drehung in die Richtung der Hauptwahrscheinlichkeitsachsen sind diese Ellipsen aber besser zur Charakterisierung der Fehlerverteilung in einer Ebene geeignet als die häufig verwendeten – da einfacher zu berechnenden – mittleren Punktfehler. Die mittlere Fehlerellipse nach Helmert besitzt eine innere Wahrscheinlichkeit von 0,3935, d. h. ca. 39% aller fehlerhaften Punkte liegen innerhalb der Ellipse. Der Radiusvektor der Fusspunktkurve dieser Ellipse gibt dabei den mittleren Entfernungsfehler zu einem Festpunkt in dieser Richtung an (Abb. 11). Tobler (1994) berechnete für eine grössere Anzahl von Punkten die so genannte Tissotsche Indikatrix. Diese Ellipsen geben die in ihrem Mittelpunkt herrschende Netzverzerrung an und treffen keine Aussage über Fehlerverteilungen oder über wahrscheinliche Fehlerbeträge von Entfernungen zu bestimmten Festpunkten (Abb. 6).

Eine andere bereits seit langem verwendete Methode, die Genauigkeit alter Karten abzuschätzen, sind Konturvergleiche (Abb. 5). Dabei werden Grenzlinien, Küsten oder auch andere charakteristische Konfigurationen – wie zum Beispiel Ausschnitte aus dem hydrographischen Netz und gelegentlich auch nur einzelne Städte – entweder nebeneinander dargestellt oder auch übereinander kopiert. Eine moderne quantifizierbare Version dieses Verfahrens wurde in letzter Zeit des öfteren von Mesenburg (1987, 1989, 1990[4]) dazu verwendet festzustellen, welche Projektionsmethode den Portulankarten am besten entspricht. Bei diesem Verfahren wird zum Beispiel der Küstenverlauf des Mittelmeeres auf einer Portulankarte und auf einer modernen Karte durch Digitalisieren einer möglichst grossen Anzahl identischer Punkte festgelegt. Die Koordinaten der modernen Karte werden dann – unter Annahme verschiedener Abbildungsflächen wie Zylinder oder Kegel, deren Parameter beliebig verändert werden können – in neue Bildkoordinaten umgerechnet und mittels einer Fünf-Parameter-Transformation mit denen der alten Karte verknüpft. Durch iterative Variation der Abbildungsparameter lassen sich die Restklaffungen minimieren und so die der alten Karte optimal entsprechende Projektionsmethode ermitteln.

Nebst Vektoren und Kreisen / Ellipsen wurde auch das Dreieck als Darstellungsform von Kartenfehlern eingesetzt. Bönisch (1970) hatte versucht, berechnete Streckenfehler eines Dreiecksnetzes graphisch umzusetzen (Dreiecksseitenmethode). Eine solche Darstellung ist nicht sehr anschaulich (Abb. 7). Umgekehrt bietet die Dreiecksnetzmethode visuell einen guten Vergleich, basiert aber nicht auf einer numerischen Auswertung: Ortspositionen in einer alten Karte werden

zu einem Dreiecksnetz verbunden, dasselbe geschieht mit identischen Ortschaften auf einer modernen Karte. Beide Netze werden visuell miteinander verglichen. Dreiecksnetze sind sinnvoll in Gebieten einsetzbar, die für «echte» Verzerrungsgitter nicht genügend punkthafte topographische Elemente bieten (Abb. 9). Der Versuch, die Kriterien Genauigkeit und Anschaulichkeit zu kombinieren, wurde von Scharfe (1972) in einer Dreiecksflächenmethode vorgeschlagen.[5] Danach werden die Flächeninhalte der Dreiecke auf der historischen Karte bestimmt, die negativen oder positiven Abweichungen dieser Werte gegenüber denjenigen der modernen Karte in Farbwerte umgesetzt und in die Dreiecke eingetragen. Abwandlungen davon zeigt Pápay [in Vorb.] (Abb. 8).
Die zunehmende Verwendung graphischer Methoden hängt auch mit der weiteren Verbreitung und Entwicklung der Kleinrechner zusammen, die es erlauben, grosse Datenmengen rasch zu verarbeiten und graphisch darzustellen, was noch vor wenigen Jahren den Einsatz von Grossrechnern erfordert hätte.

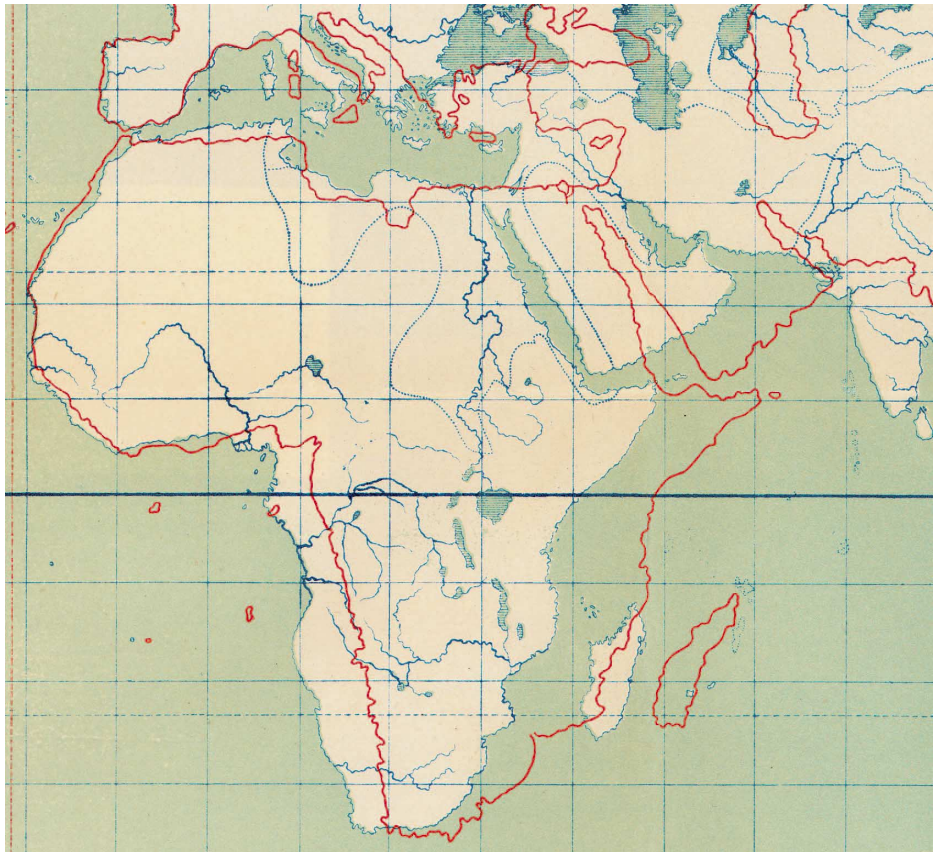

Abb. 5: Konturvergleich. Vorgehen: Die alte Karte wird auf eine moderne Karte eingepasst. Ergebnis: Abweichungen in der Länge sind besonders gut beim Mittelmeer und bei Afrika sichtbar, wobei die Umrisse der Kontinente als solche recht gut getroffen sind. Interpretation: Homann (um 1722 in Rot) basierte teilweise auf veralteten Kartengrundlagen um 1700, die u.a. noch eine viel zu grosse Ausdehnung des Mittelmeeres zeigten. Die moderne Vergleichskarte mit den korrekten Küstenlinien erscheint in Blau. (Homann, Johann Baptist: Kontinentkarten um 1722; Tafel 5 und Text S. 360–361 und 377–378 in Sandler [1886]).

## Entwicklung und Verwendung der Verzerrungsgitter

Verzerrungsgitter sind ein Hilfsmittel zur visuellen Beurteilung der Genauigkeit alter Landkarten und lassen sich – im Gegensatz zu einigen der vorher erwähnten Genauigkeitsuntersuchungen, für die meist umfangreiche Berechnungen erforderlich sind – auch rein geometrisch konstruieren. Dabei wird bewusst der Anschaulichkeit des Ergebnisses der Vorrang gegenüber einer einwandfreien Reproduzierbarkeit eingeräumt. Die Verzerrungsgitter stellen die Verdrehungen, Dehnungen und Stauchungen von Linien oder Gittern moderner Karten in den alten Karten dar, sind aber kein Mass für deren Genauigkeit, da ihnen eben ein «Massstab», mit dem die Genauigkeit gemessen werden könnte, fehlt. Interpretiert man die Fehler alter Landkarten als Instabilität des Kartenmassstabes, der sich in den alten Karten von Punkt zu Punkt kontinuierlich, manchmal aber auch sprunghaft, ändert,[6] so zeigen die verzerrten Gittermaschen auch die Änderungen der jeweiligen lokalen Massstäbe. Weiter lassen Verzerrungsgitter qualitative Rückschlüsse auf Orientierungsfehler und auf die allgemeine Konsistenz der Kartenanlage sowie gegebenenfalls auch auf eingearbeitete Vorlagen zu.
In der neueren Literatur wird der Vorschlag, die Anlage und Fehler alter Landkarten mit Hilfe von Verzerrungsgittern darzustellen, fast ausnahmslos Eduard Imhof (1895–1986) mit der Veröffentlichung seiner Untersuchung der ersten Schweizerkarte von Konrad Türst im Jahre 1939 zugeschrieben. Imhof selbst (von dem der Ausdruck «Verzerrungsgitter» stammt) irrte aber, wenn er 1964 meinte, «einen neuen Weg» zur Untersuchung alter Karten beschritten zu haben. Denn auch vor 1939 wurde diese Methode bereits recht häufig verwendet, damals aber ausnahmslos als die «Kartometrische Methode» von Hermann Wagner (1840–1929) bezeichnet.

Das älteste zu Untersuchungszwecken über eine Portulankarte eingezeichnete Gitter dürfte von Joachim Lelewel (1786–1861) stammen,[7] kann aber noch nicht als Verzerrungsgitter bezeichnet werden. Verzerrungsgitter im heutigen Sinn wurden aber bereits 1895 und 1896 von Wagner und seinem Schüler Ernst Steger zur Untersuchung mittelalterlicher Portulane verwendet. Wagner versuchte, damit unterschiedliche Meilenlängen für die Mittelmeerbecken und die Atlantikküste nachzuweisen. Steger untersuchte die Projektionsmethode der Portulankarte von Giacomo Giraldi aus dem Jahre 1426. Im Jahre 1906 veröffentlichte Walter Behrmann, im Rahmen einer umfangreichen Untersuchung über Entfernungsangaben in verschiedenen niederdeutschen Seebüchern, auch ein Verzerrungsgitter mit Linien im Abstand von 1° der Gesamtkarte Lucas Janszoon Waghenaers aus dem Jahre 1584. Er versuchte damit die verschiedenen, in die Karte eingearbeiteten Vorlagen gegeneinander abzugrenzen. Albrecht Penck und Arnold Feuerstein untersuchten mit dieser Methode 1907 beziehungsweise 1912 Meridi-

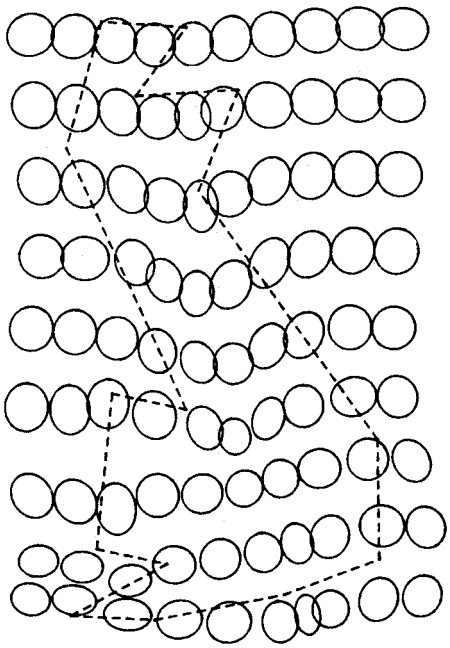

Abb. 6: Tissotsche Indikatrix. Vorgehen: Kreise an den Schnittpunkten von Längen- und Breitengraden werden von einer modernen Karte in die alte Karte transformiert und abgebildet. Ergebnis: Die Kreise werden je nach lokaler Verzerrung deformiert und werden zu Ellipsen. Interpretation: In einem senkrechten Mittelstreifen ist die untersuchte Karte zu schmal und weist ausserdem beachtliche Fehler im Südwesten auf. («Gough Map» aus dem 14. Jahrhundert; Abb. 9 und Text S. 200–205 in Tobler [1994], vergrössert).

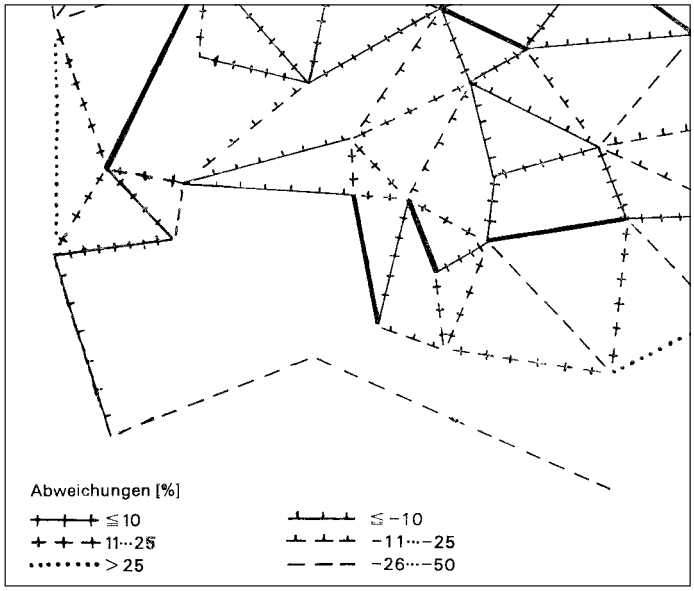


Abb. 7: Dreiecksseitenmethode. Vorgehen: Ortschaften werden durch Linien verbunden und deren Länge berechnet. Mit verschiedenen Liniensignaturen wird gezeigt, um wieviele Prozent diese Streckenlängen auf der Karte von der Wirklichkeit abweichen. Ergebnis: Die räumliche Verteilung der fehlerhaften Strecken zeigt auch Zufälligkeiten, wie beispielsweise annähernd massstabsgerechte Strecken in der Umgebung von stark negativen Abweichungen. Interpretation: Die Anwendung der Kreisschnittmethode zur Aufnahme der Karte kann nur für jene Gebiete als wahrscheinlich gelten, wo die benachbarten Strecken keine grosse Divergenz hinsichtlich der Abweichungen aufweisen. (Stella, Tilemann: Mecklenburgkarte von 1552; Abb. 3 und Text S. 213–214 in Pápay [1988]).

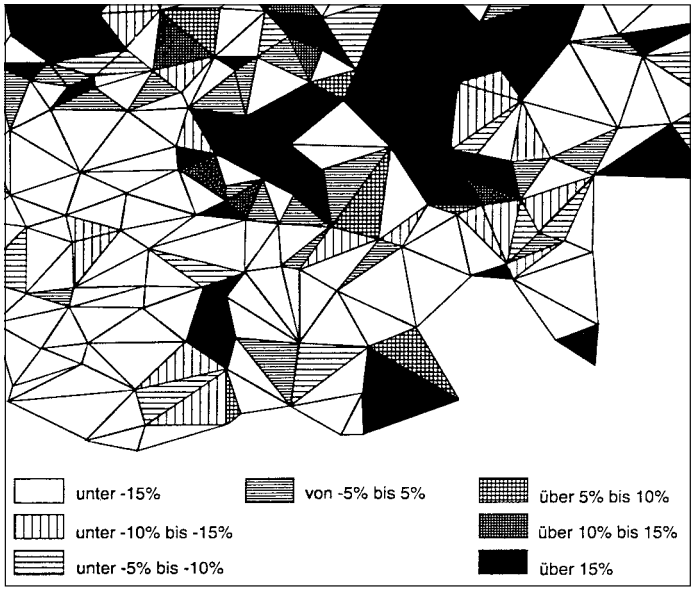


Abb. 8: Dreiecksflächenmethode. Vorgehen: Zuerst wird ein Dreiecksnetz erstellt, das die Orte verbindet. Danach wird der Umfang der Dreiecke auf der historischen Karte bestimmt, die negativen oder positiven Abweichungen dieser Werte gegenüber denjenigen auf einer modernenen Karte in Schwarzweiss-Werte umgesetzt und in die Dreiecke eingetragen. Ergebnis: Die Hell-Dunkel-Werte zeigen die Verzerrung des Dreiecks-Umfangs zur modernen Karte in flächenhafter Form an. Interpretation: Stark positiv wie stark negativ verzerrte Gebiete liegen unmittelbar nebeneinander. Weite Teile im Südwesten sind zu klein abgebildet. (Hoinckhusen, Bertram Christian von: Mecklenburg [Karte VI] um 1700; Abb. 10 und Text in Pápay [in Vorb.]).

ane und Breitenkreise auf den Karten von Wolfgang Lazius, gaben aber nur eine verbale Beschreibung des Verlaufes verschiedener Linien.[8] Ein ausserordentlich detailliertes Gitter der Mercator-Karte der britischen Inseln aus dem Jahre 1564 gab Walter Reinhard in der Dissertation 1909 (Abb. 10). Reinhard verglich die Flächen der Netzmaschen des Verzerrungsgitters mit ihren Soll-Werten und leitete daraus eine grosse Anzahl von Lokalmassstäben ab. Georg Wiebeck diskutierte 1938 im Rahmen einer Untersuchung über die Methodik des Kartenvergleiches auch die Verzerrungsgitter und bringt einige Linien, gab aber letztendlich Feldern von Fehlervektoren, wegen der besseren Erfassung der gesamten Fläche, den Vorzug.

In der bereits oben erwähnten Arbeit über die Türst-Karte untersuchte Imhof (1939) das Gradnetz der Karte und verwendete dabei erstmals den Ausdruck «Verzerrungsgitter». In weiteren Arbeiten mit Verzerrungsgittern untersuchte er die Linien des rechtwinkligen Koordinatennetzes von fünf alten Karten des Kantons Zürich sowie von sieben Gesamtkarten der Schweiz, bei denen jedoch wieder das Gradnetz ausgewertet wurde. Diese Arbeiten mit ihren anschaulichen Beispielen machten die Methode in kartographiehistorisch interessierten Kreisen bekannt. Es folgten eine ganze Reihe von Veröffentlichungen von Verzerrungsgittern, wobei deren Ausführung sehr unterschiedlich ist und von zwei zusammenhängenden Vierecken bis zu ausserordentlich kompliziert angelegten Gittern reicht. Im Gegensatz zu den älteren Arbeiten, in denen die Verzerrungsgitter meist als Basis für weitere Genauigkeitsuntersuchungen dienten, werden sie heute hauptsächlich zur Illustration der Genauigkeit der gerade behandelten Karte verwendet.

Verzerrungsgitter wurden aber auch in einer Reihe von Arbeiten besprochen oder ausgewertet, wobei sich die Verfasser teilweise kritisch mit der Methodik der Erstellung und ihren Ergebnissen auseinandersetzten. Ausser der bereits angeführten kritischen Arbeit von Andrews (1975)[9] beschreibt Balmer (1970) die Verwendung der Gitter von Seekarten zur Bestimmung der früher herrschenden Deklinationsverhältnisse,[10] und Mayr (1970) behandelt ausführlich die Verfälschungen des Linienverlaufes, wenn dieser einmal durch dichtbesiedelte Gebiete, dann aber wieder durch fast menschenleere Gegenden führt, wie dies bei Alpenkarten häufig auftritt. Das hat nämlich zur Folge, dass in letztgenannten Gebieten durch die weiträumigere Interpolation ein viel zu glatter Linienverlauf vorgetäuscht wird. Auch der Versuch, in den dichter besiedelten Gebieten durch Auslassen von Punkten gleiche Verhältnisse wie in den Gebirgsregionen zu schaffen, scheiterte, da dabei verschiedene Bearbeiter zu stark unterschiedlichen Linienzügen kamen. Weiter geht Mayr auf die Probleme der Alpenkarten mit ihren manchmal vertauschten Orten ein, die unter Umständen zu Schlingenbildungen oder Knoten in den Linienzügen führen können. Er vertritt die Ansicht, dass solche Fehler als zufällige Störungen zu betrachten und daher auszuschalten sind, um die Übersichtlichkeit zu wahren und einen allgemeinen Überblick über die Anlage der Karte zu erhalten. Stone (1972) weist darauf hin, dass es sich bei der Konstruktion von Verzerrungsgittern um eine mehrdeutige Technik handle, da es verschiedene Möglichkeiten gebe, die Linien zwischen den Punkten einzuzeichnen und dass eine lineare Interpolation, wegen der Instabilität des Massstabes, streng genommen nicht zulässig sei. Die Zuverlässigkeit des Gitters sei deshalb davon abhängig, eine grössere Anzahl von Punkten direkt auf den Gitterlinien zu finden,[11] was aber praktisch nie der Fall ist. Eine Anregung zur weiteren Auswertung von Verzerrungsgittern gab McIlwraith (1972). Er schlägt vor, von alten Karten Verzerrungsgitter anzufertigen und die Flächen der einzelnen Netzmaschen zu untersuchen, wobei bei Karten grösseren Umfanges für die Maschen in Nord–Süd-Richtung ein Flächenkorrekturfaktor zu verwenden wäre. Ohne Details anzugeben berichtet er, dass sich auf der Seutter-Karte des Ostteiles Nordamerikas aus dem Jahre 1735 die Netzmaschen nach Westen hin bedeutend vergrössern und dass das Verhältnis der kleinsten zur grössten Masche 1:8 beträgt, bringt aber kein Beispiel.[12] Diese Technik wurde allerdings schon von Reinhard (1909) in seiner Dissertation verwendet. Als Problem bei der Konstruktion von Verzerrungsgittern wird, wie schon bei Stone (1972), das Auffinden einer genügenden Anzahl von Punkten, aus denen ein verlässliches Verzerrungsgitter konstruiert werden kann, angeführt. Neunteufl

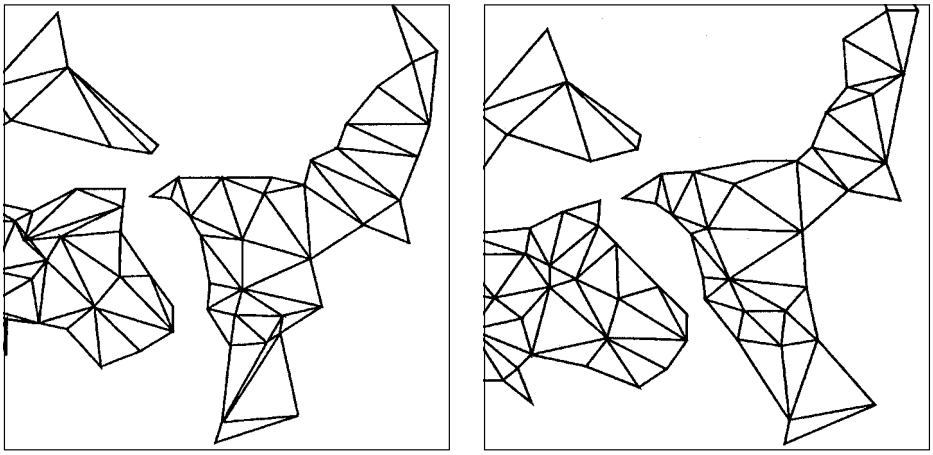

Abb. 9: Dreiecksnetzmethode. Vorgehen: Ortspositionen auf einer modernen Karte (rechts) werden zu einem Dreiecksnetz verbunden, dasselbe geschieht mit identischen Ortschaften in der alten Karte (links). Ergebnis: Im visuellen Vergleich beider Dreiecksnetze zeigt sich deutlich die teilweise ungenaue relative Lage der Orte. Interpretation: Der küstenferne Nordosten des Reiches gehörte zu den peripheren Räumen, was sich in schlechten Kenntnissen der Ortslagen ausdrückt. Vermessungen sind sicher nicht in das Kartenbild eingegangen. (Mercator, Gerard: Mark Brandenburg und Pommern von 1585; Abb. 25 und Text S. 35–38 in Scharfe [1996]).

(1984) und Stigloher (1984) geben eine Beschreibung der Konstruktion von Verzerrungsgittern unter Benutzung eines mittleren Massstabes[13] und Stigloher wertet das Gitter noch im Hinblick auf die Abweichungen der Gitterlinien und auf Winkelabweichungen, d.h. Orientierungsfehler, aus. Die Entwicklung der Genauigkeit der Deutschlandkarten wurde von Meurer (1984) an Hand einiger Beispiele mit den entsprechenden Verzerrungsgittern demonstriert.

Ulbrich (1963) ging im Rahmen einer Untersuchung verschiedener Genauigkeitsaspekte der Donaukarte von Vincenzo Coronelli aus dem Jahre 1691 einen anderen Weg: Er bestimmte auf den sechs Blättern der Karte den wirklich dargestellten Verlauf der Blattgrenzen und stellte ihn den beabsichtigten Kartenrändern in einer modernen Karte gegenüber, wobei die Verzerrungen und Verdrehungen deutlich sichtbar werden. Damit ist diese Arbeit das seltene Beispiel eines «forwards gridding», das heisst, dass die Linien einer alten Karte in eine moderne Karte übertragen werden, während normalerweise umgekehrt verfahren wird (Abb. 11).

Um das Verfahren der Gitterkonstruktion zu objektivieren, wurden Wege gesucht, durch Einbindung aller eingemessenen, kartenidenten Punkte den Einfluss der Punktauswahl auf den Verlauf der Linien auszuschalten und das Verfahren auf eine mathematische, reproduzierbare Basis zu stellen. Tobler (1966) veröffentlichte ein Gitter der Hereford-Karte von 1283, das mit Ausgleichspolynomen berechnet wurde. In einer weiteren Arbeit (1977, gedruckt 1994) werden die Grundlagen der zweidimensionalen Regression und der Abbildungstheorie erörtert und ein auf iterativem Weg berechnetes Verzerrungsgitter der Gough-Karte Englands aus dem 14. Jahrhundert gezeigt. Die Programmbeschreibung weist darauf hin, dass das dafür erforderliche Programm sehr umfangreich war und damals auf grossen Rechenanlagen lief.

Ein einfacherer Weg zur Berechnung von Gittern wurde von Finsterwalder (1991) und Weis (1985) beschritten. Um den oben angesprochenen Schwierigkeiten bei der manuellen Erstellung von Verzerrungsgittern aus dem Wege zu gehen und die Konstruktion zu objektivieren, hat Weis in einer Diplomarbeit 1985 eine EDV-gestützte Methode zur automatischen Erstellung von Verzerrungsgittern entwickelt, bei der die Koordinatenfehler aller eingemessenen Punkte – gewichtet nach der Entfernung – in die Berechnung des Verlaufes der Gitterlinien mit eingehen. Ein Vergleich von automatisch und manuell erstellten Verzerrungsgittern ergab (bis auf Abweichungen in Einzelheiten) eine gute Übereinstimmung der Gitterlinien. Finsterwalder (1991) veröffentlichte ein nach dieser Methode berechnetes Verzerrungsgitter, geht aber nicht auf die Einzelheiten der Berechnung ein.[14]

## Zusammenfassung

Die Untersuchungsergebnisse alter Karten werden häufig graphisch dargestellt. Die hierzu verwendeten Methoden werden kurz beschrieben und an Beispielen erläutert. Im Anhang sind Arbeiten, die solche Darstellungen enthalten, möglichst vollständig aufgelistet.

Von den verschiedenen Möglichkeiten zur graphischen Darstellung der Fehler alter Karten ist heute die Konstruktion von Verzerrungsgittern eine der bekanntesten. Sie wurde erstmals gegen Ende des letzten Jahrhunderts von Wagner und seinen Schülern unter der Bezeichnung «Kartometrische Methode» eingeführt und bis zum Ersten Weltkrieg verhältnismässig häufig verwendet. Sie geriet dann in Vergessenheit und wurde erst 1939 von Imhof wieder für seine Untersuchungen alter Karten der Schweiz angewandt. Damit wurde diese Technik in einem grösseren Kreis wieder bekannt und wird seit damals recht häufig zur Illustration der Genauigkeit alter Landkarten benützt.

## Anmerkungen

Für abgekürzt zitierte Literatur vgl. Anhang.

1 Wolf, Rudolf: *Geschichte der Vermessungen in der Schweiz als Historische Einleitung zu den Arbeiten der schweiz. geodätischen Commission.* Zürich, 1879. S. 6–7 Anm. 5–7 und 13.

2 Sandler (1979) S. 36–38.

3 Egerer (1934), vgl. dazu auch Ulbrich (1963).

4 Mesenburg, Peter: *Untersuchungen zur geometrischen Struktur und zur Genese der Portolankarte des Petrus Roselli aus dem Jahre 1449.* In: *4. Kartographiehistorisches Colloquium Karlsruhe 1988. Vorträge und Berichte.* Hrsg. Wolfgang Scharfe, Heinz Musall, Joachim Neumann. Berlin, 1990. S. 31–38 [ohne graphische Konturvergleiche].

5 Scharfe (1972) S. 23–24. Er verzichtet aber auf eine Abbildung. Pápay (1988) S. 211–212 verwendet hierfür den Begriff «Verzerrungsspinnen».

6 Stone, Jeffrey C.: *Techniques of scale assessment on historical maps.* In: *International Geography* 1 (1972) S. 452–454 · Andrews, J[ohn] H[arwood]: *Motive and Method in Historical Cartometry.* Vortrag. 6th International Conference on the History of Cartography, Greenwich, United Kingdom, 7.–11. September 1975. [Typoskript].

7 Lelewel, Joachim: *Géographie du Moyen Age.* Brüssel, Breslau, 1850–1857. Atlasband, Karte XXXIV · Dürst, Arthur: *Seekarte des Andrea Benincasa (Borgiano VIII) 1508.* Zürich, 1984. (*Codices e Vaticanis selecti … Bibliothecae Vaticanae* 68). S. 16.

8 Penck, Albrecht: *Wolfgang Lazius' Karten von Österreich und Ungarn.* In: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 2 (1907) S. 76–86 · Feuerstein, Arnold: *Die Entwicklung des Kartenbildes von Tirol bis um die Mitte des 16. Jahrhunderts.* In: *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Wien* 55 (1912) S. 328–385. Repr. in: *Acta Cartographica* 19 (1974) S. 212–271 und zugleich in: *Festschrift des Deutschen Geographentages zu seiner XVIII. Tagung Pfingsten 1912 zu Innsbruck.* Innsbruck, 1912. S. 114–171.

9 Andrews (1975) [Anm. 6].

10 Balmer, Heinz: *Aus der Geschichte des Kompasses.* In: *Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft von Bern* 49 (1970) S. 129–137 · Später auch Balmer, Heinz: *Die Verzerrungen auf alten Seekarten und ihre Deutung.* In: *Gesnerus* 29, 3/4 (1972) S. 197–206.

11 Stone (1972) [Anm. 6].

12 McIlwraith, Th[omas] F.: *Measures of displacement and distortion in early maps.* In: *International Geography* 1 (1972) S. 440–441.

13 Neunteufl, Walter: *Genauigkeit bei alten Landkarten (Maßstäbe und Verzerrungsgitter).* In: *Bericht über den fünfzehnten Österreichischen Historikertag in Salzburg … 1981.* [Wien], 1984. (*Veröffentlichungen des Verbandes Österreichischer Geschichtsvereine* 23). S. 307–311 [ohne Verzerrungsgitter].

14 Dank an Herrn Gottfried Ehweiner (Montanuniversität Leoben) für seine freundliche Hilfe bei der Beschaffung der Literatur und Herrn Dipl.-Ing. Walter Neunteufl (Graz) für die interessanten Diskussionen über verschiedene Aspekte der Verzerrungsgitter. Anhang mit Ergänzungen von Herrn Prof. Dr. Wolfgang Scharfe (Berlin).

15 Die Publikationen sind alphabetisch nach Methoden geordnet. Solche Beiträge, die ausschliesslich oder überwiegend bereits zuvor veröffentlichte graphische Fehlerdarstellungen wiedergeben, sind den Originalbeiträgen chronologisch nachgestellt; es bilden sich somit gewisse «Familien».
Sind in einem Beitrag mehrere Methoden dargestellt, so erfolgt der Haupteintrag unter der im vorliegenden Aufsatz zuerst genannten. Im Übrigen sind zahlreiche Verweise angebracht worden.

## Anhang: Graphische Fehlerdarstellungen alter Karten[15]

### *Fehlervektoren*


**Beineke und Brunner (1996)** [vgl. Kreismethode].

**Brunner, Kurt:** *Zwei Regionalkarten Süddeutschlands von David Seltzlin*. In: *Karten hüten und bewahren. Festschrift Lothar Zögner.* Hrsg. Joachim Neumann. Gotha, 1995. (*Kartensammlung und Kartendokumentation* 11). S. 33–47. [Abb. 1].

**Egerer, Alfred:** *Zwei topographische Spezialkarten aus der Zeit des Dreißigjährigen Krieges. Beitrag zur Frage der Genauigkeit älterer Karten*. In: *Mitteilungen des Reichsamts für Landesaufnahme* 10, 3 (1934) S. 150–160 · Bönisch (1970) [vgl. Dreiecksseitenmethode].

**Finsterwalder (1991)** [vgl. Verzerrungsgitter].

**Krengel, Michael:** *Methoden der Genauigkeitsuntersuchung von Altkarten am Beispiel der Berlin-Blätter des Schulenburg-Schmettauschen Kartenwerkes*. Diplomarbeit. Berlin, 1997.

**Laxton (1976)** [vgl. Dreiecksnetzmethode].

**Lips, Kurt:** *Die Lubinschen Karten von Rügen und Pommern 1608 bis 1619*. In: *Mitteilungen des Reichsamts für Landesaufnahme* 14, 2 (1938) S. 79–101.

**Meschendörfer, Hans; Mittelstrass, Otto:** *Siebenbürgen auf alten Karten*. Heidelberg, 1996. (*Historisch-Landeskundlicher Atlas von Siebenbürgen*).

**Mesenburg (1994)** [vgl. Isodeformaten].

**Ravenhill, William; Gilg, Andrew:** *The Accuracy of Early Maps? Towards a Computer Aided Method*. In: *Cartographic Journal* 11, 1 (1974) S. 48–52.

**Ravenhill, William:** *As to its Position in respect to the Heavens*. In: *Imago Mundi* 28 (1976) S. 79–93.

**Ravenhill, William:** *Projections for the Large General Maps of Britain, 1583–1700*. In: *Imago Mundi* 33 (1981) S. 21–32.

**Steiner (1994)** [vgl. Kreismethode].

**Stochdorph, Otto:** *Rechnergestützte Ermittlung von Kartenmaßstäben*. In: *Kartographiehistorisches Colloquium Lüneburg '84. Vorträge.* Hrsg. Wolfgang Scharfe, Eckhard Jäger. Berlin, 1985. S. 195–201.

**Tobler (1994)** [vgl. Tissotsche Indikatrix].

**Wiebeck, Georg:** *Zur Methodik des Kartenvergleiches. Ein Beitrag zur Auswertung alter Karten für historisch-geographische Zwecke*. Diss. Halle, 1938 und zugleich Berlin, 1938. (*Mitteilungen des Reichsamts für Landesaufnahme* Sonderheft 16).


### *Isodeformaten*


**Koussoulakou, A[lexandra]; Livieratos, E[vangelos]; Rossikopoulos, D[imitrios]:** *Analysi Paramorphoseon Historikon Charton. [Deformation Analysis of Historical Maps]*. In: *Geodaitika Tetradia/Quaterniones Geodaesiae* 4, 2 (1983) S. 127–148.

**Mesenburg, Peter:** *Untersuchungen zur kartometrischen Auswertung mittelalterlicher Portolane*. In: *Kartographische Nachrichten* 40, 1 (1990) S. 9–18.

**Mesenburg, Peter:** *Germaniae Universalis – Die Genauigkeit der Darstellung Europas durch Gerhard Mercator im Jahre 1585*. In: *Gerhard Mercator, Europa und die Welt*. Red. Ruth Löffler et al. Duisburg, 1994. S. 221–234. [Abb. 3].


### *Polarkoordinaten*


**Brugman, C. J. M.:** *De nauwkeurigheid van vier plattegronden van Amsterdam*. In: *Caert-Thresoor* 12, 1 (1993) S. 21–26. [Abb. 4].


### *Kreismethode*


**Beineke, Dieter; Brunner, Kurt:** *Genauigkeitsuntersuchung zur Schlesienkarte von Martin Helwig aus dem Jahre 1561*. In: *Martin Helwigs Karte von Schlesien aus dem Jahre 1561*. Hrsg. Kurt Brunner, Heinz Musall. Karlsruhe, 1996. (*Karlsruher Geowissenschaftliche Schriften* Reihe C, 9). S. 19–31.

**Brunner (1995)** [vgl. Fehlervektoren]. [Abb. 2].

**Bretterbauer, Kurt:** *Mapping the Continents – From Amerigo Vespucci to Earth Observation Satellites*. Vortrag. Conferencia Internacional, Cartografia – Geodesia, Maracaibo, Venezuela, 24. November – 3. Dezember 1992. [Typoskript].

**Bretterbauer, Kurt:** *Zur Genauigkeitsbeurteilung alter Karten*. In: *Cartographica Helvetica* 8 (1993) S. 47–49.

**Schilder, Günter:** *Monumenta Cartographica Neerlandica* 1. Alphen aan den Rijn, 1986 · Mekenkamp, P[eter] G. M.; Koop, R. O[lev]: *Een nieuwe computergestuurde methode voor nauwkeurigheidsanalyses van oude kaarten*. In: *NGT Geodesia* 86–5 (1986) S. 171–175 · Mekenkamp, Peter; Koop, Olev: *Nauwkeurigheids-analyse van oude kaarten met behulp van de computer*. In: *Caert-Thresoor* 5, 3 (1986) S. 45–52 · Mekenkamp, Peter G. M.: *Die Entwicklung einer neuen Methode für die Bestimmung der Genauigkeit von alten Karten*. In: *5. Kartographiehistorisches Colloquium Oldenburg 1990. Vorträge und Berichte*. Hrsg. Wolfgang Scharfe, Hans Harms. Berlin, 1991. S. 111–116.

**Schilder, Günter:** *Monumenta Cartographica Neerlandica* 2. Alphen aan den Rijn, 1987.

**Schilder, Günter:** *Monumenta Cartographica Neerlandica* 4. Alphen aan den Rijn, 1993.

**Schilder, Günter:** *Monumenta Cartographica Neerlandica* 5. Alphen aan den Rijn, 1996.

**Steiner, Christian:** *Genauigkeitsanalyse des Atlas Tyrolensis*. Diplomarbeit. Wien, 1994.


### *Fehlerellipsen*


**Ulbrich, Karl:** *Die Genauigkeit der «Donaukarte» von Coronelli*. In: *Der Globusfreund* 12 (1963) S. 8–17. [Abb. 11].


### *Tissotsche Indikatrix*


**Stegena, Lajos:** *Térképtörténet. [Kartengeschichte]*. Budapest, 1981.

**Tobler, W[aldo] R.:** *Bidimensional Regression*. In: *Geographical Analysis* 26, 3 (1994) S. 187–212 [das dazugehörende Computer-Programm wurde bereits 1977 veröffentlicht]. [Abb. 6].


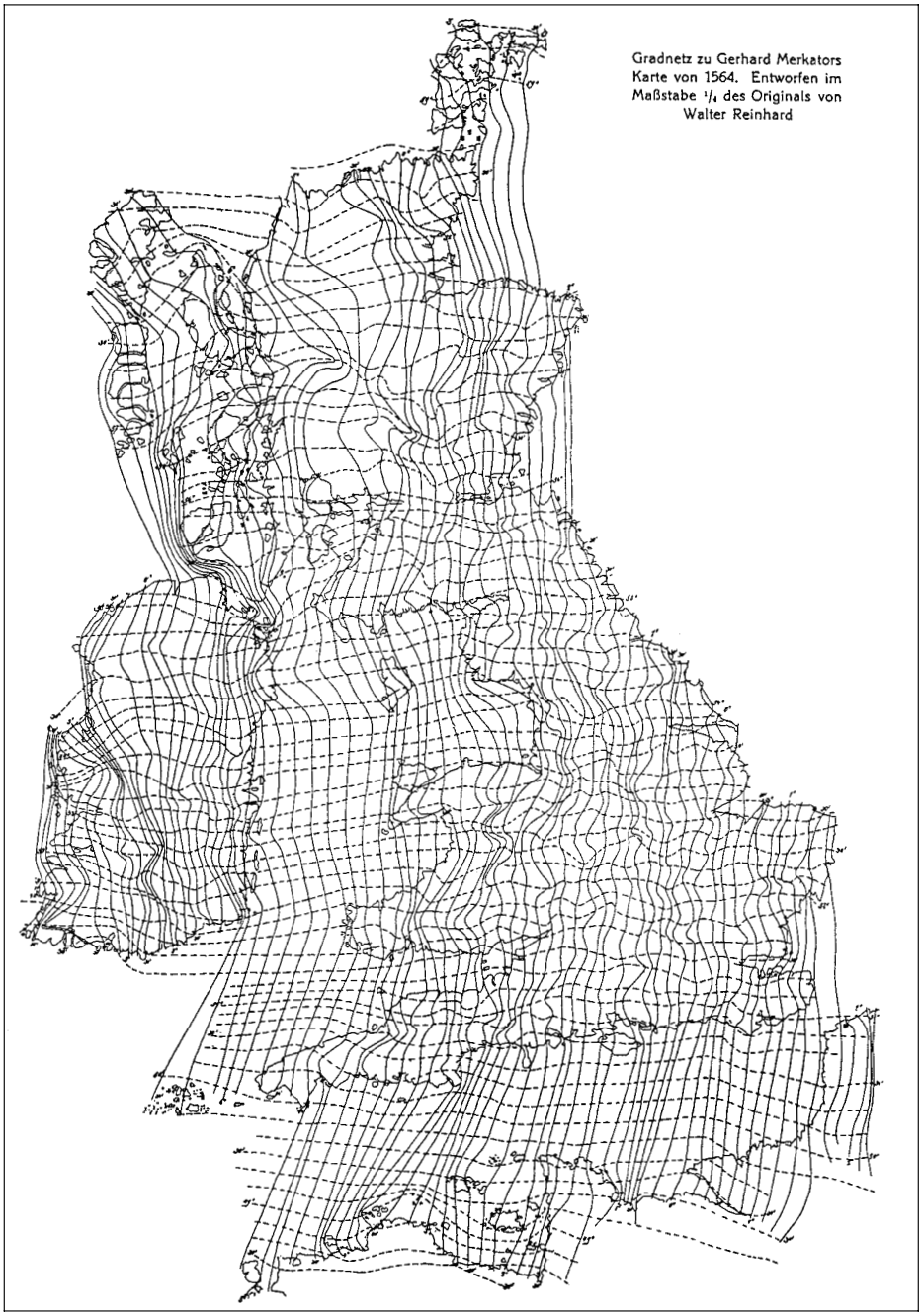


Abb. 10: Verzerrungsgitter. Vorgehen: Ein auf einer modernen Karte befindliches Quadratgitter oder das geographische Netz wird anhand von topographischen Vergleichspunkten auf der zu beurteilenden alten Karte eingetragen. Ergebnis: Das Gitter oder das Netz wird verzerrt abgebildet. Interpretation: Das Verzerrungsgitter lässt qualitative Rückschlüsse auf Orientierungsfehler und auf die allgemeine Konsistenz der Kartenanlage sowie gegebenenfalls auch auf eingearbeitete Vorlagen zu. (Mercator, Gerard: Britische Inseln von 1564; Abb. 1 in Reinhard [1909], verkleinert).

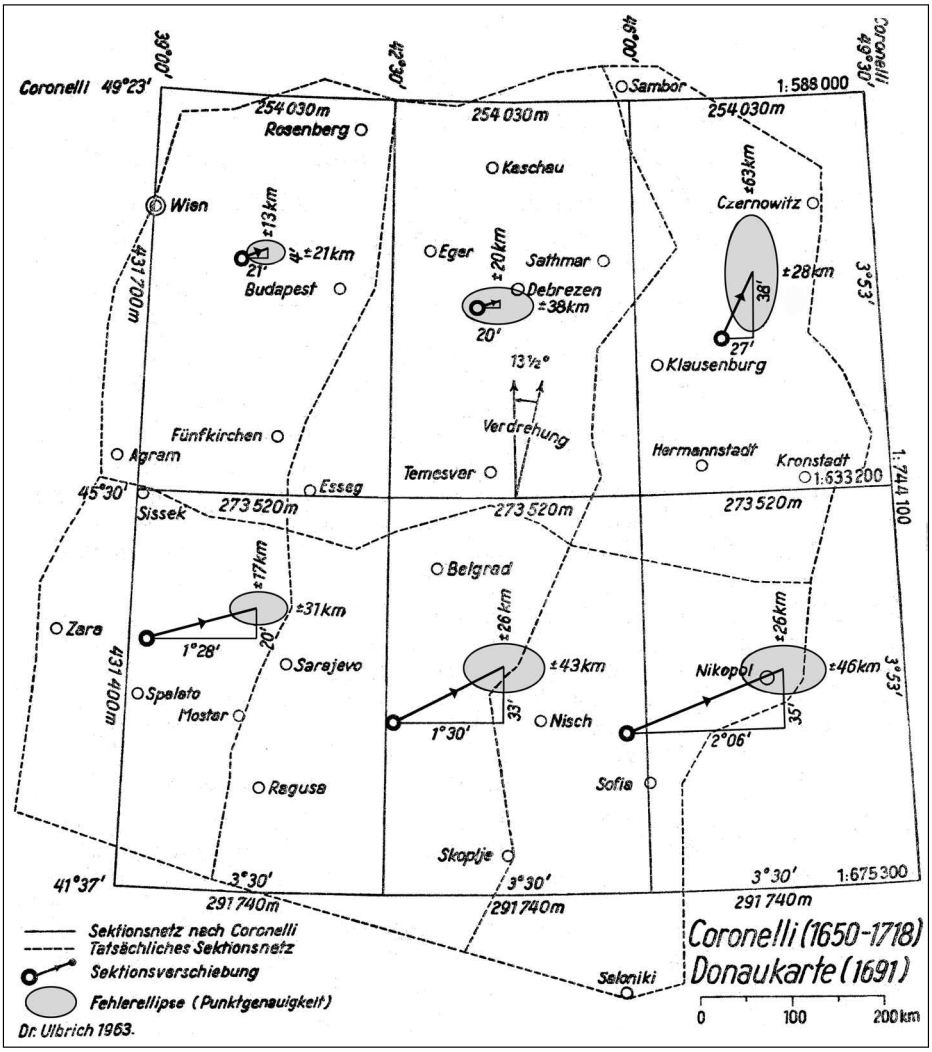


Abb. 11: Kombination von Fehlervektoren, Verzerrungsgitter und Fehlerellipsen. Vorgehen: Die systematische Netzverschiebung wird – für die einzelnen Blätter getrennt – mit Fehlervektoren dargestellt, die sich als Resultierende bei der Addition der verschiedenen Fehlervektoren der Ortspositionen dieser Blätter ergeben. Der Blattschnitt der Coronelli-Karte wird in eine moderne Karte übertragen («forwards gridding»), und es ergibt sich daraus eine Art Verzerrungsgitter. Der dritte Schritt, die Darstellung der Punktlagegenauigkeit mittels Fehlerellipsen, wurde leider fehlerhaft durchgeführt, so dass sich aus diesen Ellipsen nur der mittlere Punktfehler für die einzelnen Blätter ableiten lässt. Ergebnisse: Die Fehlervektoren zeigen, dass die systematischen Nord–Süd-Fehler sektionsweise zusammengefasst zwischen 2 und 38 Minuten betragen, während die Ost–West-Komponenten durchwegs grösser im Bereich zwischen 20 und 126 Minuten liegen. Zur Bestimmung des genauen Verhältnisses müsste aber auch der Unterschied zwischen der Meridian- und der Breitenkreisminute berücksichtigt werden. Das Gradnetz zeigt im Mittel eine Verdrehung von 13½° gegen den Uhrzeigersinn. Interpretation: Längenbestimmungen waren damals infolge der mangelhaften Uhren viel ungenauer als die Breitenbestimmungen. Die östlichen Blätter weisen die grössten Fehler auf: im Südosten dürften ungenügende kartographische Grundlagen des damals türkischen Gebietes die Ursache sein, im Nordosten liegt die Ursache in den Karten Siebenbürgens, die eine viel zu hohe Breitengradierung aufwiesen. (Coronelli, Vincenzo: Donaukarte von 1691; Abb. 3 und Text S. 12–16 in Ulbrich [1963]).

## *Kontur- und Punktvergleiche*


**Alkhoven, Patricia:** *Bestudering en analyse van oude stadsplattegronden met behulp van de computer.* In: *Caert-Thresoor* 11, 4 (1982) S. 87–93 · Alkhoven, Patricia: *The Changing Image of the City. A study of the transformation of the townscape using Computer-Aided Architectural Design and visualization techniques. A case study: Heusden.* Diss. Utrecht, 1993.

**Behrmann (1906)** [vgl. Verzerrungsgitter].

**Bönisch (1970)** [vgl. Dreiecksseitenmethode].

**Bramsen, Bo:** *Gamle Danmarkskort. En historisk oversigt med bibliografiske noter for perioden 1570–1770. [Alte Dänemarkkarten. Eine historische Übersicht mit bibliographischen Angaben für die Periode 1570–1770].* 2. Auflage. Kopenhagen, 1965.

**Buache, J[ean] N[icolas]:** *Mémoire sur les pays de l'Asie et de l'Amérique, situés au nord de la mer du sud.* Paris, 1775 · Warren, Bill: *A Most Curious Map.* In: *The Map Collector* 73 (1995) S. 13–18.

**Clutton, Elizabeth:** *Some Seventeenth Century Images of Crete: a comparative analysis of the manuscript maps by Francesco Basilicata and the printed maps by Marco Boschini.* In: *Imago Mundi* 34 (1982) S. 48–65.

**Cortesão, Armando:** *History of Portuguese Cartography* 2. Coimbra, 1971. (*Agrupamento de estudos de cartografia antiga* 8).

**Dorffner, Lionel:** *Der digitale Behaim-Globus – Visualisierung und Vermessung des historisch wertvollen Originals.* In: *Cartographica Helvetica* 14 (1996) S. 20–24.

**Dreyer-Eimbcke, Oswald:** *Kolumbus. Entdeckungen und Irrtümer in der deutschen Kartographie.* Frankfurt a.M., 1991.

**Duken, A. J[ohn]:** *Reconstruction of the Portolan Chart of G. Carignano (c. 1310).* In: *Imago Mundi* 40 (1988) S. 86–95.

**Dušek, Rudolf; Kozák, Jan:** *Gerard Mercators Karte von Böhmen (1585) und ihre Quellen.* In: *7. Kartographiehistorisches Colloquium Duisburg 1994. Vorträge und Berichte.* Hrsg. Wolfgang Scharfe. Duisburg, 1996. (*Duisburger Forschungen* 42). S. 89–93.

**Egerer (1934)** [vgl. Fehlervektoren].

**Franz, Johann Michael:** *Vorschläge, wie die Erdbeschreibung in Absicht Deutschlands zu verbessern sey.* In: *Kosmographische Nachrichten und Sammlungen auf das Jahr 1748.* Wien, Nürnberg, 1750. S. 348–397 · Meurer, Peter.: *Hintergründe und Analysen zu Tobias Mayers «Kritischer Karte von Deutschland».* In: *Cartographica Helvetica* 12 (1995) S. 19–26.

**Gasser, Max:** *Studien zu Philipp Apians Landesaufnahme.* Diss. München, 1902 und zugleich in: *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in München* 1, 1 (1903) S. 17–68. Repr. in: *Acta Cartographica* 16 (1973) S. 153–208.

**Grosjean (1979)** [vgl. Verzerrungsgitter].

**Grosse-Stoltenberg, Robert:** *Der «Große Atlas von Deutschland» von Johann Wilhelm Abraham Jaeger, Frankfurt 1789.* Frankfurt a.M., 1969. (*Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften* Reihe E, 10).

**Hapgood, Charles H[utchins]:** *Maps of the Ancient Sea Kings. Evidence of Advanced Civilization in the Ice Age.* 2. Auflage. London, 1979.

**Hartnack, Wilhelm:** *Probleme der deutschen Kartographie des 16.–17. Jahrhunderts. Dargestellt am Beispiel der Großen Lubinschen Karte von Pommern aus dem Jahre 1618.* In: *Deutsche Geographische Blätter* 42 (1939) S. 40–56.

**Höhn, Alfred:** *Die Karte des Hegaus und des Schwarzwaldes von Sebastian Münster, 1537.* In: *Cartographica Helvetica* 3 (1991) S. 15–21

**Koussoulakou et al. (1983)** [vgl. Isodeformaten].

**Laxton (1976)** [vgl. Dreiecksnetzmethode].

**Margary, Harry:** *A Proposed Photographic Method of Assessing the Accuracy of Old Maps.* In: *Imago Mundi* 29 (1977) S. 78–79.

**Meschendörfer und Mittelstrass (1996)** [vgl. Fehlervektoren].

**Mesenburg, Peter:** *Rechnergestützte Analyse zum kartographischen und geodätischen Informationsgehalt von Portolankarten.* In: *Kartographiehistorisches Colloquium Wien '86. Vorträge und Berichte.* Hrsg. Wolfgang Scharfe, Ingrid Kretschmer, Franz Wawrik. Berlin, 1987. S. 57–67 · Mesenburg, Peter: *Historische Vermessungspraxis im Spiegel alter Karten.* In: *Nachrichten Förderkreis Vermessungstechnisches Museum* 1 (1989) S. 1–7 [Beilage zu *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten* 96, 1 (1989)].

**Mesenburg, Peter:** *Kartographie im Mittelalter – Eine analytische Betrachtung zum Informationsgehalt der Portolankarte des Petrus Roselli aus dem Jahre 1449.* Karlsruhe, 1989. (*Karlsruher Geowissenschaftliche Schriften* Reihe C, 1) · Mesenburg (1990) [vgl. Isodeformaten].

**Milz, Joseph:** *Der Duisburger Stadtplan von 1566 des Johannes Corputius und seine Vermessungsgrundlagen.* In: *Cartographica Helvetica* 11 (1995) S. 2–10.

**Musall, Heinz:** *Kein Atlas ohne Weltkarte: Weltkarten vom Ende des 17. bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts.* In: *Vierhundert Jahre Mercator – Vierhundert Jahre Atlas.* Hrsg. Hans Wolff. Weissenhorn, 1995. S. 95–103.

**Reinecke, I[ohann] C[hristoph] M[atthias]:** *Doppel-Charte von Island.* In: *Allgemeine Geographische Ephemeriden* 6 (1800) Anhang.

**Sandler, Christian:** *Johann Baptista Homann. Ein Beitrag zur Geschichte der Kartographie.* In: *Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin* 21, 4/5 (1886) S. 328–384. [Abb. 5]. Repr. in: Sandler, Christian: *Johann Baptista Homann, die Homännischen Erben, Matthäus Seutter und ihre Landkarten. Beitrag zur Geschichte der Kartographie.* Amsterdam, 1979.

**Sandler, Christian:** *Die Reformation der Kartographie um 1700.* München, Berlin, 1905.

**Scharfe (1996)** [vgl. Dreiecksnetzmethode].

**Schilder (1987)** [vgl. Kreismethode].

**Schilder, Günter:** *Monumenta Cartographica Neerlandica* 3. 2. Auflage. Alphen aan den Rijn, 1997.

**Smith, Thomas R.:** *Cruz Cano's Map of South America, Madrid, 1775: its creation, adversities and rehabilitation.* In: *Imago Mundi* 20 (1966) S. 49–78.

**Taylor, E[va] G[ermaine] R[imington]:** *Mathematics and the Navigator in the Thirteenth Century.* London, 1959. (*The Duke of Edinburgh's Lecture*).

**Tobler (1966)** [vgl. Verzerrungsgitter].

**Wagner (1896)** [vgl. Verzerrungsgitter].

**Yi Ch'an:** *Han'guk ko chido. [Old Korean Maps].* Seoul, 1977 · Ledyard, Gari: *Cartography in Korea.* In: *Cartography in the Traditional East and Southeast Asian Societies.* Hrsg. J[ohn] B[rian] Harley, David Woodward. Chicago, London, 1994. (*The History of Cartography* 2, 2). S. 235–345.

## Dreiecksseitenmethode

**Bönisch, Fritz:** *Genauigkeitsuntersuchungen am Öderschen Kartenwerk von Kursachsen.* Berlin, 1970. (*Abhandlungen der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Phil.-hist. Kl.* 61, 3).

**Pápay, Gyula:** *Aufnahmemethodik und Kartierungsgenauigkeit der ersten Karte Mecklenburgs von Tilemann Stella (1525–1589) aus dem Jahre 1552 und sein Plan zur Kartierung der deutschen Länder.* In: *Petermanns Geographische Mitteilungen* 132, 3 (1988) S. 209–216. [Abb. 7].

## Dreiecksnetzmethode

**Laxton, Paul:** *The Geodetic and Topographical Evaluation of English County Maps, 1740–1840.* In: *The Cartographic Journal* 13, 1 (1976) S. 37–54.

**Pápay (1988)** [vgl. Dreiecksseitenmethode].

**Pápay [in Vorb.]** [vgl. Dreiecksflächenmethode].

**Scharfe, Wolfgang:** *Das kartographische Bild von Berlin-Brandenburg auf Deutschland- und Mitteleuropa-Karten im 15. und 16. Jahrhundert.* In: *Berlin in Geschichte und Gegenwart.* Berlin, 1996. (*Jahrbuch des Landesarchivs Berlin*). S. 7–46. [Abb. 9].

**Tobler (1994)** [vgl. Tissotsche Indikatrix].

## Dreiecksflächenmethode

**Krengel (1997)** [vgl. Fehlervektoren].

**Pápay (1988)** [vgl. Dreiecksseitenmethode].

**Pápay, Gyula:** *Methoden der Graphischen Datenverarbeitung, der Computerkartographie und der Geo-Informationssysteme in der historischen Kartographie und der historischen Geographie.* In: *8. Kartographiehistorisches Colloquium Bern 1996. Vorträge und Berichte.* Hrsg. Wolfgang Scharfe [in Vorb.]. [Abb. 8].

**Weiden, F. L. T. van der; Wijs, R. T. de:** *De nauwkeurigheid van de kaart van J. A. Colom, 1647.* In: *Bulletin van de Vakgroep Kartografie* 9 (1978) S. 29–40.

## Verzerrungsgitter

**Andrews, J[ohn] H[arwood]:** *Charles Vallancey and the map of Ireland.* In: *The Geographical Journal* 132 (1966) S. 48–61.

**Behrmann, Walter:** *Über die niederdeutschen Seebücher des fünfzehnten und sechzehnten Jahrhunderts.* In: *Mitteilungen der Geographischen Gesellschaft in Hamburg* 21 (1906) S. 63–176. Repr. in: *Acta Cartographica* 15 (1972) S. 20–136.

**Beineke und Brunner (1996)** [vgl. Kreismethode].

**Binggeli, Valentin:** *Über Qualität, Entstehung und Autorschaft der «Anonymen Bernerkarte» von 1749. Ein Beitrag zur historischen Kartographie.* In: *Geographica Helvetica* 12, 3 (1957) S. 145–159.

**Brunner, Kurt:** *Die «Carta marina» des Olaus Magnus vom Jahre 1539.* In: *5. Kartographiehistorisches Colloquium Oldenburg 1990. Vorträge und Berichte.* Hrsg. Wolfgang Scharfe, Hans Harms. Berlin, 1991. S. 45–58.

**Brunner (1995)** [vgl. Fehlervektoren].

**Dubas, Jean; Feldmann, Hans-Uli:** *Die erste Karte des Kantons Freiburg von Wilhelm Techtermann, 1578.* In: *Cartographica Helvetica* 10 (1994) S. 33–41 · Dubas, Jean; Feldmann, Hans-Uli: *Typvs Agri Fribvrgensis: Die erste Karte des Kantons Freiburg von Wilhelm Techtermann 1578. La première carte du canton de Fribourg de Guillaume Techtermann 1578.* Murten, 1994. (*Cartographica Helvetica* Sonderheft 7).

**Finsterwalder, Rüdiger:** *Zur Entwicklung der bayerischen Kartographie von ihren Anfängen bis zum Beginn der amtlichen Landesaufnahme.* München, 1967. (*Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften* Reihe C, 108).

**Finsterwalder, Rüdiger:** *Die Genauigkeit zweier Kartierungen Tirols aus dem 17. Jahrhundert.* In: *Studien zur Namenkunde und Sprachgeographie. Festschrift Karl Finsterwalder.* Hrsg. Wolfgang Meid, Hermann M. Ölberg, Hans Schmeja. Innsbruck, 1971. (*Innsbrucker Beiträge zur Kulturwissenschaft* 16). S. 435–443.

**Finsterwalder, Rüdiger:** *Maßstab und Genauigkeit alter Karten – gezeigt an einigen Kartierungen Bayerns.* In: *Bayern im Bild der Karte. Cartographia Bavariae.* [Hrsg.] Hans Wolff. 2. Auflage. Weissenhorn, 1991. (*Ausstellungskataloge Bayerische Staatsbibliothek* 44). S. 193–211.

**Finsterwalder, Rüdiger:** *Genauigkeit und Herkunft der Ortspositionen im mitteleuropäischen Raum zu Beginn des 16. Jahrhunderts.* In: *Kartographische Nachrichten* 47, 3 (1997) S. 96–102.

**Frömelt, Hubert:** *Die thurgauischen Kataster- und Herrschaftspläne des 18. Jahrhunderts.* Diss. Zürich, 1984. S. 94–105.

**Giauque, Beat:** *Untersuchungen zur Berner Karte des Thomas Schöpf.* In: *Schweizer Jugend forscht* 3, 7 (1970) S. 3–5.

**Grosjean, Georges:** *Johann Jakob Brenners Thunerseeplan von 1771.* In: *Jahrbuch vom Thuner- und Brienzersee* (1967) S. 15–24.

**Grosjean, Georges; Kinauer, Rudolf:** *Kartenkunst und Kartentechnik. Vom Altertum bis zum Barock.* Bern, Stuttgart, 1970.

**Grosjean, Georges:** *Karte des Bernischen Staatsgebietes von 1577/78 von Thomas Schoepf.* Dietikon, 1970–1972.

**Grosjean, Georges; Cavelti, Madlena:** *500 Jahre Schweizer Landkarten. 500 Jahre Sihl, Zürcher Papierfabrik an der Sihl.* Zürich, [1971] · Grosjean, Georges: *Geschichte der Kartographie.* 3. Auflage. Bern, 1996. (*Geographica Bernensia* U8).

**Grosjean, Georges (Hrsg.):** *Mapamundi: Der katalanische Weltatlas vom Jahre 1375.* Dietikon, 1977 · Grosjean, Georges (Hrsg.): *Mapamundi: the Catalan atlas of the year 1375.* Dietikon, 1978 · Grosjean, Georges (Hrsg.): *Der Seeatlas des Vesconte Maggiolo vom Jahre 1512.* Dietikon, 1979.

**Grosjean, Georges:** *Geländeaufnahme und kartographische Gestaltung.* In: *Die Schauenburg-Sammlung der Eidgenössischen Militärbibliothek und des Historischen Dienstes. Beitrag zur Geschichte der Schweiz anhand von Karten des 17. und 18. Jahrhunderts.* Hrsg. Derck C. E. Engelberts. Hauterive, 1989. S. 28–32.

**Hammer-Cavelti, Madlena; Cavelti, Alfons:** *Die Schweizerkarte von J. H. Weiss, 1800, im Vergleich mit zeitgenössischem Kartenschaffen.* In: *Der Mensch in der Landschaft. Festschrift Georges Grosjean.* Hrsg. Klaus Aerni, Georg Budmiger, Hans-Rudolf Egli, Elisabeth Roques-Bäschlin. Bern, 1985. (*Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern* 55). S. 625–644.

**Härtel, Reinhard:** *Una mappa inedita del territorio di Aquileia.* In: *Metodi & Ricerche* N.S. 3, 1 (1984) S. 31–46.

**Hartnack (1939)** [vgl. Kontur- und Punktvergleiche].

**Horat, Heinz; Klöti, Thomas:** *Die Luzernerkarte von Hans Heinrich Wägmann und Renward Cysat 1597–1613.* In: *Der Geschichtsfreund* 139 (1986) S. 47–100 · Klöti, Thomas: *Die älteste Karte des Kantons Luzern von Hans Heinrich Wägmann und Renward Cysat, 1597–1613, die Originalzeichnung und die Nachbildungen.* In: *Cartographica Helvetica* 2 (1990) S. 20–26.

**Imhof, Eduard:** *Die älteste gedruckte Karte der Schweiz. Einige Begleitworte zu ihrer Neuherausgabe.* In: *Mitteilungen der Geographisch-Ethnographischen Gesellschaft Zürich* 39 (1939) S. 51–74 · Imhof, Eduard: *Die ältesten Schweizerkarten.* Zürich, Leipzig, 1939.

**Imhof, Ed[uard]:** *Hans Konrad Gygers Karte des Kantons Zürich vom Jahre 1667.* In: *Atlantis* 10/11 (1944) S. 541–554.

**Imhof, Eduard:** *Herstellung, Genauigkeit und Form der alten Schweizer Karten.* In: Weisz, Leo: *Die Schweiz auf alten Karten.* Zürich, 1945. S. 207–227. 3. Auflage: Zürich, 1971. S. 219–241 · Blumer, Walter: *Bibliographie der Gesamtkarten der Schweiz von Anfang bis 1802.* Bern, 1957. (*Bibliographia Helvetica* 2) · Imhof, Eduard: *Beiträge zur Geschichte der topographischen Kartographie.* In: *Internationales Jahrbuch für Kartographie* 4 (1964) S. 129–153 · Imhof, Eduard: *Die Karte des Kantons Zürich aus dem Jahr 1667 in 56 Blättern von Hans Conrad Gyger. Faksimiledruck 1967.* Dietikon, 1967 · Stochdorph, Otto: *Das Imhofsche Verzerrungsgitter als Hilfsmittel bei der Kartographiegeschichte der Alpenländer.* In: *Alpenübergänge vor 1850. Landkarten – Straßen – Verkehr.* Hrsg. Uta Lindgren. München, 1987. (*Vierteljahresschrift für Sozial- und Wirtschaftsgeschichte* Beiheft 83). S. 87–90 · Rickenbacher, Martin: *Das Alpenpanorama von Micheli du Crest – Frucht eines Versuches zur Vermessung der Schweiz im Jahre 1754.* Murten, 1995. (*Cartographica Helvetica* Sonderheft 8).

**Konias, Andrzej:** *Kartograficzny obraz Śląska na podstawie map księstw śląskich Jana Wolfganga Wielanda i Mateusza Schubartha z połowy XVIII wieku (z oceną kartometryczną). [Das kartographische Bild Schlesiens in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts auf Grund von Karten schlesischer Herzogtümer von Johann Wolfgang Wieland und Matthäus Schubarth (mit kartometrischer Analyse)].* Katowice, 1995. (Serie: *Nauki o Ziemi*).

**Krengel (1997)** [vgl. Fehlervektoren].

**Kuchař, Karel:** *Early Maps of Bohemia, Moravia and Silesia.* Prag, 1961.

**Lüchinger, Rösli:** *Fürstäbtisch-st. gallische Marchenbeschreibungsbücher und Grenzkarten als Quellen geographischer Forschung. Eine historisch-kartographische Untersuchung der «Alten Landschaft» entlang der st. gallisch/thurgauischen Grenze.* Diss. Zürich, 1979.

**Mayr, Franz:** *Verzerrungsgitter des Tirol-Ausschnittes der Cusanus-Martellus-Karte und Deutung des Karteninhalts.* In: *Cusanus-Gedächtnisschrift.* Hrsg. Nikolaus Grass. Innsbruck, München, 1970. (*Forschungen zur Rechts- und Kulturgeschichte* 3). S. 607–616.

**Meschendörfer und Mittelstrass (1996)** [vgl. Fehlervektoren].

**Messerli, Bruno:** *Die Frage der ältesten gedruckten Schweizerkarte.* In: *Jahresbericht der Geographischen Gesellschaft von Bern 1961/1962* 46 (1963) S. 46–87.

**Meurer, Peter H.:** *Mappae Germaniae. Die schönsten und bedeutendsten Deutschlandkarten von 1482 bis 1803.* Bad Neustadt a. d. Saale, 1984.

**Minow, Helmut:** *Sind die frühen Portolankarten das Ergebnis antiker großräumiger Vermessungen?* In: *Kartographiehistorisches Colloquium Lüneburg '84. Vorträge.* Hrsg. Wolfgang Scharfe, Eckhard Jäger. Berlin, 1985. S. 161–172.

**Müller, Guido:** *Verzerrungsgitter alter Karten Salzburgs. Ein Nachtrag zu Ernst Bernleithner: Salzburg im Kartenbild.* In: *Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde* 106 (1966) S. 367–373.

**Neunteufl, Walter (Hrsg.):** *Georg Matthaeus Vischer, Karte der Steiermark 1678, Styriae Ducatus Fertilissimi Nova Geographica Descriptio.* Graz, 1976.

**O'Dell, Andrew C.:** *A View of Scotland in the Middle of the Eighteenth Century.* In: *The Scottish Geographical Magazine* 69, 2 ( 953 ) S. 58–63.

**Rabensteiner, W.:** *Die geschichtliche Entwicklung der Landkarte bis zur modernen Geländedarstellung.* Wien, 964. (*Österreichische Militärische Zeitschrift* Sonderheft ).

**Reinhard, Walter:** *Zur Entwicklung des Kartenbildes der Britischen Inseln bis auf Mercators Karte vom Jahre 564.* Diss. Leipzig, 909. Repr. Amsterdam, 967. [Abb. 0].

**Saenger, Wolfgang:** *Die bäuerliche Kulturlandschaft der Hohenloher Ebene und ihre Entwicklung seit dem 6. Jahrhundert.* Remagen, 957. (*Forschungen zur deutschen Landeskunde* 0 ) · Stochdorph, Otto: *Equidistant Cylindrical Projection as a Blend of Cosmographic and Perspective Mapping on a Sixteenth Century Map.* In: *Imago et mensura mundi. Atti de IX Congresso Internazionale di Storia della Cartografia.* Hrsg. Carla Clivio Marzoli. Rom, [ 985]. (*Acta Encyclopaedica* 3). S. 279–28 .

**Satzinger, Walter:** *Grand Atlas d'Allemagne Edited by Johann Wilhelm Jaeger, Frankfurt am Main, 789.* In: *Imago Mundi* 28 ( 976) S. 94– 04.

**Scharfe, Wolfgang:** *Abriß der Kartographie Brandenburgs 77 – 82 .* Berlin, New York, 972. ( *Veröffentlichungen der Historischen Kommission zu Berlin* 35).

**Schmidt, Rudolf:** *Die Kartenaufnahme der Rheinlande durch Tranchot und v. Müffling 80 – 828. Die Geschichte des Kartenwerkes und vermessungstechnische Arbeiten.* Köln, Bonn, 973. ( *Publikationen der Gesellschaft für Rheinische Geschichtskunde* 2).

**Steger, Ernst:** *Untersuchungen über italienische Seekarten des Mittelalters auf Grund der kartometrischen Methode.* Diss. Göttingen, 896. Repr. in: *Acta Cartographica* 2 ( 97 ) S. 395– 448 [Repr. ohne Verzerrungsgitter].

**Stigloher, Wolfgang:** *Die Militärkartographie in Bayern um die Wende des 8. Jahrhunderts unter besonderer Berücksichtigung der «Schmittschen Karte von Süddeutschland».* Diss. München, 984.

**Tobler, W[aldo] R.:** *Medieval Distortions: The Projections of Ancient Maps.* In: *Annals of the Association of American Geographers* 56, 2 ( 966) S. 35 – 360.

**Tobler ( 994)** [vgl. Tissotsche Indikatrix].

**Tschudi, Erwin:** *Gilg Tschudi von Glarus.* In: *Hauszeitung der Eidg. Landestopographie* 32 ( 972) S. 5– 20.

**Ulbrich ( 963)** [vgl. Fehlerellipsen]. [Abb. ].

**Vičar, Oldřich:** *Nejstarší městská měření v českých zemích. [The oldest urban measurements in the Czech lands].* In: *Dějiny věd a techniky* , 2 ( 968) S. 69–88.

**Vičar, Oldřich:** *Mapová kresba dvou nejstarších map Moravy. [Kartennetz der zwei ältesten Landkarten Mährens].* In: *Dějiny věd a techniky* 5, 2 ( 972) S. 65–73.

**Wagner, Hermann:** *Das Rätsel der Kompaßkarten im Lichte der Gesamtentwickelung der Seekarten.* In: *Verhandlungen des elften Deutschen Geographentages zu Bremen am 7., 8. und 9. April 895.* Hrsg. Georg Kollm. Berlin, 896. S. 65–87. Repr. in: *Das rechte Fundament der Seefahrt. Deutsche Beiträge zur Geschichte der Navigation.* Hrsg. Wolfgang Köberer. Hamburg, 982. S. 8–34 und 302– 303.

**Weis, Ingrid:** *Automatische Erstellung von Verzerrungsgittern alter Karten.* Diplomarbeit. München, 985.

**Wiebeck ( 938)** [vgl. Fehlervektoren].

**Wyder, Samuel:** *Die Schaffhauser Karten von Hauptmann Heinrich Peyer ( 62 – 690), unter besonderer Berücksichtigung ihrer kulturlandschaftsgeschichtlichen Bedeutung.* Diss. Zürich, 95 und zugleich in: *Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Schaffhausen* 24 ( 952) S. 9– 06.

**Wyder-Leemann, Elisabeth und Samuel:** *Der Zehntenplan des Zürichbergs von Hans Rudolf Müller, 682.* In: *Cartographica Helvetica* 5 ( 992) S. 2 –29.

**Gustav Forstner, Dipl.-Ing.**
**Peter-Tunnergasse 17**
**A-8605 Kapfenberg**

**Markus Oehrli, Kartograph**
**Funkstrasse 124/807, CH-3084 Wabern**

## Résumé:
## Représentations graphiques des résultats de recherche sur les cartes anciennes et développement des grilles de distorsion

Les résultats de recherche sur les cartes anciennes sont souvent représentés graphiquement. Ces graphiques permettent de représenter l'exactitude (ou au contraire les erreurs) de ces cartes. Les méthodes utilisées aujourd'hui (vecteurs de distorsion, lignes d'égales déformations, comparaisons des contours, méthode du cercle etc.) sont succintement décrites et illustrées ici par des exemples. Une liste aussi complète que possible des travaux où apparaissent de telles représentations figure en annexe.

La construction de grilles de distorsion est une des premières en date. Hermann Wagner a énoncé le principe de ces grilles à la fin du 9e siècle sous le nom de «méthode cartométrique», laquelle a été utilisée assez fréquemment jusqu'à la Première Guerre mondiale. Eduard Imhof l'a tirée de l'oubli en 939 pour analyser les anciennes cartes de la Suisse. Depuis lors, elle est connue d'un grand cercle d'utilisateurs pour illustrer la précision des cartes anciennes.

## Summary:
## Graphic representations of the analysis results of old maps and the development of distortion grids

Graphic representations are often used to show the accuracy or the errors of early maps. The methods used today (distortion vectors, iso-deformation, coastline matching, circle method etc.) are described briefly and shown with examples. Papers and reports treating such representations are listed in the appendix.

The construction of distortion grids is one of the oldest methods known. Such grids were introduced by Hermann Wagner at the end of the 9th century. His so-called «cartometric method» was used quite often until the First World War, after which it disappeared. Eduard Imhof re-used the distortion grid method in 939 to analyse old Swiss maps.