

DISS. ETH NO. 18602

**Automated cartographic techniques  
for terrain representation,  
map distortion analysis, projection design,  
and interactive mapping**

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

BERNHARD JOST JENNY

Ingénieur du Génie Rural, École Polytechnique Fédérale de Lausanne

22 January 1974

citizen of  
Sool (GL)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Lorenz Hurni  
Prof. Dr. Dr. William Cartwright

2009

# Abstract

Modern mapmaking is an entirely digital process. However, while the design and production of maps, as well as their distribution and visualization are indeed carried out by digital means, many areas of cartography do not yet take full advantage of digital technology. Hence, this thesis deals with the automation of digital cartography in three areas: (1) Automating manual techniques for terrain representation; (2) Developing new methods and tools for the analysis and visualization of space distortion, which are useful for the design of world map projections, the design of space-deforming diagram maps and for the analysis of old maps; (3) Compiling graphic design principles for screen maps, an idea which then extends further to interaction methods for digital maps, making them captivating to explore. These three areas are addressed because: (1) Many manual techniques for terrain representation are very time consuming and rather challenging, and are therefore reserved for a few cartographers; (2) Cartography is not currently fully harnessing the potential of digital technology for the visualization of space deformation, for the design of map projections, for the customization of web maps, and for the spatial navigation; (3) Many amateur map makers are lacking basic knowledge in cartographic design and need to be provided with principles and tools that guide them towards better mapping.

The production of high-quality topographic maps is quite a laborious process. Many steps in the production of these maps are carried using basic digital drawing tools, since automated solutions are not yet far enough advanced in many areas. This thesis, therefore, deals with the digitalization of four efficient types of relief representation developed during the era of manual cartography: stippled scree mapping, Swiss-style relief shading in colour, small scale hypsometric tinting, and plan oblique relief representation.

Up until now, the design of new map projections has required specific knowledge in specialized projection mathematics, and has therefore been confined to a small group of experts. This thesis presents a new visual method of designing world map projections, complemented by visualisations and numerical evaluation methods that illustrate the distribution and amount of areal and angular distortion, and help the projection designer optimize a projection. The visualizations can also be applied to the design of diagram maps that intentionally deform mapping space, as they highlight excessive distortions or topological inconsistencies. Furthermore, visualizations of space deformation are useful for analyzing the geometry of old maps. They can help map historians compare old maps with modern reference maps for examining various aspects concerning the creation of old maps, as well as assessing the geometrical reliability of the extracted information.

Maps must be easy and unambiguous to read. Cartographers can be assisted in achieving this goal through methods and tools that simplify the design of maps according to cartographic design principles. Not only does this thesis systematize design principles for maps on electronic displays, but it also introduces a tool designed to detect colour combinations that are indistinguishable to those with colour-impaired vision. A complementary approach to improving digital map design involves automating the production of map elements that are complex, or prone to design errors. This is explored by means of the example of the automatic design of

legends for proportional symbol maps, a diagram type often used in thematic cartography.

Digital interactive maps also need to be captivating to explore, and adapted to the user's needs and expertise. Hence, this thesis explores new ways for customising cartographic information systems by modularising the tools and data available to the map-reader. In order to make digital interactive maps more engaging, this thesis also discusses combining digital school atlases with game controllers, such as joysticks or gamepads.

# Zusammenfassung

Die moderne Kartografie basiert völlig auf digitalen Methoden. Sowohl die Gestaltung und Produktion von Karten als auch die Verbreitung und Visualisierung verwenden digitale Mittel. Einige Bereiche der Kartografie nutzen jedoch noch nicht vollständig die Möglichkeiten der digitalen Technologie. Diese Dissertation trägt deshalb zur Automatisierung der digitalen Kartografie in drei Bereichen bei: (1) Automatisierung manueller Techniken zur Geländedarstellung mit digitalen Mitteln; (2) Entwicklung neuer Methoden und Werkzeuge für die Analyse und Visualisierung von Raumverzerrungen, die insbesondere von Nutzen für die Schöpfung neuer Kartennetzentwürfe, für die Gestaltung von Kartenanamorphosen und für die Analyse alter Karten sind; (3) Aufstellung von grafischen Gestaltungsregeln für Bildschirmkarten und Erweiterung von Interaktionsmethoden zur Steigerung der Attraktivität. Diese drei Bereiche werden aus folgenden Gründen behandelt: (1) Viele manuelle Techniken für die Geländedarstellung sind sehr zeitaufwändig und anspruchsvoll und können deshalb nur von wenigen Kartografen mit speziellem Fachwissen ausgeführt werden. (2) Einige Gebiete der Kartografie schöpfen das Potential der digitalen Technik nicht genügend aus, zum Beispiel zur Visualisierung von Raumverformungen, zur Erschaffung neuer Kartennetzentwürfe, zur individuellen Anpassung von Web-Karten und zur räumlichen Navigation. (3) Ausserdem fehlt vielen Amateurlkartografen das nötige Grundwissen in kartografischer Gestaltung. Sie benötigen deshalb Gestaltungsregeln und Werkzeuge, die sie zu besseren Ergebnissen leiten.

iii

Die Erstellung von qualitativ hochwertigen topografischen Karten ist sehr zeitaufwendig. Etliche Produktionsschritte müssen mit einfachen digitalen Zeichenwerkzeugen ausgeführt werden, weil die Automatisierung für viele Gebiete noch nicht genügend fortgeschritten ist. Deshalb beschäftigt sich diese Arbeit mit der Automatisierung von vier effizienten Arten der Geländedarstellung: Gerölldarstellung, farbige Geländeschattierung nach Schweizer Manier, hypsometrische Farbgebung in kleinen Massstäben und Geländeansichten mithilfe schräger Parallelprojektion.

Die Erschaffung neuer Kartennetzentwürfe hat bis anhin Fachwissen in spezialisierter Mathematik vorausgesetzt und war deshalb einer kleinen Gruppe von Experten vorbehalten. Diese Dissertation führt eine neue grafische Methode zum Design von Kartennetzentwürfen ein. Dieses Verfahren wird durch Darstellungen und numerische Methoden ergänzt, die die Verteilung von Flächen- und Winkelverzerrungen aufzeigen und somit hilfreich bei der Optimierung eines Kartennetzentwurfs sind. Zudem können diese Darstellungen zum Entwurf von Topogrammen (d. h. topografisch nicht exakten Darstellungen) verwendet werden, da sie übermässige Verzerrungen oder topologische Fehler anschaulich aufzeigen. Visualisierungen von Raumverformungen sind auch bei der Untersuchung der Geometrie alter Karten nützlich. Sie können helfen, alte Karten mit modernen Referenzkarten zu vergleichen und damit Aspekte zur Kartenerstellung und geometrischen Genauigkeit zu untersuchen.

Karten sollen einfach und eindeutig lesbar sein. Kartografen können dieses Ziel leichter erreichen, wenn sie bereits bei der Kartengestaltung durch spezialisierte Methoden und Werkzeuge unterstützt werden. Diese Arbeit trägt zum einen dazu bei, die Gestaltungsprinzipien für Bildschirmkarten zu systematisieren, zum anderen führt sie eine Software zur Erkennung von Farbkombinationen ein, die für Farbfeldsichtige nicht unterscheidbar sind. Ein komplementärer Ansatz zur verbesserten

Kartengestaltung ist die Automatisierung von aufwendigen oder fehleranfälligen Arbeitsschritten. Dies wurde anhand von automatisch konstruierten Legenden für wertproportionale Signaturen erforscht.

Digitale Karten sollen auch attraktiv zu erkunden sowie an die Bedürfnisse und das Fachwissen der Benutzer angepasst sein. Aus diesem Grund untersucht diese Dissertation, wie kartografische Informationssysteme durch eine Modularisierung der Werkzeuge und Daten individualisiert werden können. Um die Interaktion mit digitalen Karten spannend zu gestalten, wurde auch die Kombination von Schulatlanten mit Gamecontrollern (Joystick und Gamepad) einbezogen.