



universität  
wien

# Diplomarbeit

TITEL DER DIPLOMARBEIT

**„Implementierung von Kartennetzentwürfen in einer GIS-Webapplikation mit entsprechendem Interfacedesign und mit Unterstützung von ArcGIS und Adobe Flex“**

Verfasser

Christoph HASELBERGER

Angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag.rer.nat.)

Wien, 2011

Studienkennzahl lt. Studienblatt: A 455

Studienrichtung lt. Studienblatt: Kartographie und Geoinformation

Betreuer: Univ.-Prof. DI Dr. techn. Wolfgang Kainz



# Inhalt

<b>Inhalt.....</b>	<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>v</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>vii</b>
<b>Kurzfassung .....</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>xi</b>
<b>Vorwort .....</b>	<b>xiii</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Einführung in das Thema .....	1
1.2 Forschungsstand und Zielsetzung .....	2
<b>2 Die theoretischen Grundlagen der Kartennetzentwürfe.....</b>	<b>5</b>
2.1 Begriffserklärung .....	5
2.2 Kurze geschichtliche Entwicklung der Kartennetzentwürfe und der Erdgestalt.....	7
2.3 Koordinatensysteme .....	10
2.4 Grundlagen der Kartennetzentwürfe .....	12
2.4.1 Abbildung der Erdoberfläche auf eine Karte .....	13
2.4.2 Der Maßstab .....	14
2.4.3 Verzerrungen als Resultat der Abbildung dreidimensionaler Informationen in die zweidimensionale Ebene .....	15
2.4.4 Ersten Fundamentalgrößen der Gaußschen Theorie .....	19
2.4.5 Berechnung der Hauptverzerrungen .....	21
2.4.6 Die Verzerrungsellipse (Tissotsche Indikatrix) .....	22
2.4.7 Abbildungseigenschaften .....	24
2.4.8 Berechnung Verzerrungseigenschaften der Mercator-Abbildung .....	27
2.5 Einteilung der Kartennetzentwürfe .....	29
2.5.1 Einteilung nach der Art der Bilder der Breiten- und Längenkreise .....	29

2.5.2	Einteilung nach der Art der Abbildungsfläche .....	30
2.5.3	Einteilung nach der Stellung der Abbildungsfläche zur Erdachse .....	30
2.5.4	Echte Kartennetzentwürfe .....	31
2.5.5	Unechte Kartennetzentwürfe .....	39
<b>3</b>	<b>Das Interface (-design) als wichtige Hauptkomponente einer kartographischen Ausdrucksform .....</b>	<b>43</b>
3.1	Grundlegende Bestandteile eines Interfaces .....	43
3.1.1	Das Interface als Verbindung der Mensch-Computer Interaktion .....	43
3.1.2	Interface-Metapher .....	46
3.1.3	Interaktionsstile .....	47
3.2	Interfacedesign .....	51
3.2.1	Die Brauchbarkeitskriterien .....	52
3.2.2	Designprinzipien des nutzerorientierten Ansatzes .....	53
3.3	Das kartographische Interface .....	54
3.3.1	Die Karte als analoges Interface .....	54
3.3.2	Geovisualisierung .....	55
3.4	Interaktivität einer GIS-Applikation, die drei kartographischen Interaktionskomplexe .....	59
3.4.1	Orientieren und Navigieren .....	59
3.4.2	Einflussnahme auf das kartographische Erscheinungsbild .....	60
3.4.3	Informationsabfrage und –integration .....	60
3.5	Übermittlung der Lerninhalte einer internetbasierten GIS-Applikation .....	61
3.5.1	Geographisches Informationssystem .....	62
<b>4</b>	<b>Die praktische Umsetzung der internetbasierten GIS-Applikation der Kartennetzentwürfe .....</b>	<b>65</b>
4.1	Konzeption .....	65
4.1.1	Verwendete Software .....	65
4.1.2	Zielgruppe .....	65

4.1.3 Inhalt und Funktionalität .....	66
4.1.4 Die Layoutierung der Anwendung .....	66
4.2 Erstellung der Grundkarte .....	68
4.3 Datenquellen.....	69
4.3.1 Datenerstellung im ArcGIS .....	70
4.3.2 Datenaufbereitung im ArcGIS.....	71
4.3.3 Die fertige Grundkarte.....	72
4.4 Ergebnis der technische Umsetzung .....	74
4.4.1 ArcGIS Server System Architektur .....	74
4.4.2 ArcGIS Application Program Interface für Flex .....	76
4.4.3 Datenorganisation.....	78
4.4.4 Die Applikation und die Bestandteile.....	78
4.4.5 Das Zusammenwirken der Komponenten in der Applikation .....	82
<b>5 Zusammenfassung .....</b>	<b>85</b>
5.1 Ziele und Ergebnis .....	85
5.2 Schlussfolgerung und Ausblick.....	86
<b>Bibliographie.....</b>	<b>87</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>91</b>
<b>Lebenslauf .....</b>	<b>97</b>



## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Die Gestalt des Erdgeoids mit Erhöhungen (rot) und Vertiefungen (blau) [FRE-10] .....	9
Abb. 2: Der schematisch dargestellte Zusammenhang zwischen Ellipsoid und Geoid und dem Unterschied zwischen der orthometrischen Höhe $H$ und der ellipsoidischen Höhe $h$ nach [BAR-05 S.214]. .....	9
Abb. 3: Ebene Koordinatensysteme (Koordinatensystem der Landvermessung und polares Koordinatensystem), eigene Darstellung, nach Mailing [MAI-94 S.29, 34] .....	12
Abb. 4: Der Kartenabbildungsprozess [CAN-02 S.6] .....	14
Abb. 5: Abbildung eines Quadrates der Erdoberfläche in die Ebene, eigene Darstellung nach [ILI-00 S.61] .....	16
Abb. 6: Linien und Punkte ohne Verzerrungen unterschiedlicher Abbildungsflächen, eigene Darstellung nach [MAI-92 S.89-90] .....	17
Abb. 7: Linien ohne Verzerrungen unterschiedlicher Schnittfiguren, eigene Darstellung nach Mailing [MAI-92 S.91-92] .....	17
Abb. 8: Die Abbildung a zeigt ein unendlich kleines sphärisches Viereck ABCD und b die Repräsentation des unendlich kleinen sphärischen Vierecks in der Ebene (Karte) als Parallelogramm A'B'C'D', eigene Darstellung nach Mailing [MAI-92 S.94-95]. .....	19
Abb. 9: Ein sphärisches Viereck am „Generating Globe“ nach Canters [CAN-02 S.8] .....	19
Abb. 10: Das sphärische Viereck in die Ebene projiziert nach Canter [CAN-02 S.8] .....	20
Abb. 11: Ein Kreis auf der Erdoberfläche wird zu einer Verzerrungsellipse in der Ebene [CAN-02 S.12] .....	23
Abb. 12: Äquidistante Zylinderabbildung mit Verzerrungsellipsen und einem 20° Netz.....	25
Abb. 13: Behrmanns äquivalente Zylinderabbildung mit Verzerrungsellipsen und einem 20° Netz.....	26
Abb. 14: Konforme zylindrische Mercator-Abbildung mit Verzerrungsellipsen und einem 20° Netz.....	27

Abb. 15: Lage der Abbildungsflächen der Zylinderabbildung (a normal, b transversal, c schiefachsig), der Kegelabbildung (d normal, e transversal, f schiefachsig) und der Azimutalabbildung (g normal, h transversal, i schiefachsig), eigene Darstellung .....	31
Abb. 16: Mensch-Computer Interaktion, eigene Darstellung nach [WOR-04 S.294] .....	44
Abb. 17: Command Line im ArcMap .....	48
Abb. 18: MenüInterface mit verzweigten Untermenüs im ArcGIS-ArcMap.....	49
Abb. 19: Eingabefeld für Parameterbestimmung des Kartennetzes im ArcMap .....	50
Abb. 20: Beispiel eines WIMP-Interface anhand von WordPad.....	51
Abb. 21: Schematische Darstellung des Layouts der Applikation, eigene Darstellung .....	67
Abb. 22: Die fertige Grundkarte mit Kartenrandangaben .....	73
Abb. 23: ArcGIS Server System Architektur [ESR-11b].....	75
Abb. 24: ArcGIS Server Flex API implementiert im Server System [ESR-11d].....	77
Abb. 25: Die Geodatenstruktur im ArcCatalog.....	78
Abb. 26: Links wird der Zeichenschlüssel der Welt Darstellungen und rechts der Zeichenschlüssel der Europadarstellungen abgebildet. ....	80
Abb. 27: Das Layer-Fenster mit zwei aktivierten Layern .....	81
Abb. 28: Die fertige GIS-Webapplikation mit den wichtigen Bestandteilen.....	83

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Abbildungscharakteristik der Mercator-Abbildung eines $10^\circ$ Netzes .....	28
Tab. 2: Interaktionsstile, eigene Darstellung nach [WOR-04 S.298].....	47
Tab. 3: Bildschirmauflösung Jänner 2010, eigene Darstellung nach [TRA-11] .....	67
Tab. 4: Verwendung von Vektor- und Rasterdatensätzen.....	68
Tab. 5: Metadaten für ETOPO1, eigene Darstellung nach [AMA-09 S.2] .....	69
Tab. 6: Berechnung der Radien der Tissotschen Indikatrix .....	71



## Kurzfassung

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurde eine GIS-Webapplikation erstellt, Schritt für Schritt dokumentiert und zur optimalen Nachvollziehbarkeit mit kartographischen Basisinformationen unterlegt.

Das vorrangige Ziel dieser Applikation ist es, dem kartographischen Neuling einen Überblick über verschiedene Kartennetzentwürfe zu vermitteln. Der Nutzer kann aus über 60 Kartennetzentwürfen der Erd- und Europaabbildungen wählen und diese mittels klassischer GIS-Funktionen analysieren. Im Detail ist es dem Nutzer möglich, Layer ein- und auszublenden, klassische Navigationswerkzeuge eines online-basierten geographischen Informationssystems (Zoom-In, Zoom-Out, Pan-Funktion, Maßstabsbalken, graphischer Maßstab) zu verwenden und Popup-Fenster (z.B. Informations- und Legendenfenster) zu aktivieren. Es wurde außerdem darauf geachtet, dass das Interface intuitiv aufgebaut ist, sodass die Anwendung ohne komplexe Lernvorgänge verwendet werden kann. Des Weiteren wurden die Interaktionen und Funktionen so konzipiert, dass sie sich gegenseitig nicht blockieren und reibungslos in kurzen Rechenzeiten abgeschlossen werden können.

Die Grundkarte, deren verwendete Daten online kostenlos bezogen werden, bekommt durch ein Overlay und die Schummerung einen plastischen Effekt und wirkt durch die Wahl entsprechender Ebenen optisch anspruchsvoll auf den Nutzer. Darüber hinaus visualisieren die Tissotschen Indikatoren dem Anwender die entsprechenden Verzerrungen.

Der ArcGIS Server veröffentlicht die Map-Dokumente und über das SDK Flex von Adobe wird das Interface mittels .mxml und ActionScript entwickelt. Der Prototyp der GIS-Webapplikation (Version 1.0) wird in weiterer Folge über einen GIS Server der Universität Wien zum Laufen gebracht werden und somit demnächst über das Internet für jeden Nutzer zugänglich sein. Für die fehlerfreie Nutzung benötigt der Anwender lediglich einen nicht zu alten Computer mit einem installierten Webbrowser (aktuellere Version ist vorteilhaft), das entsprechende Adobe Flash Player Plug-In und einen Internetzugang.



## **Abstract**

In the course of this diploma thesis a GIS-webapplication was developed. For full comprehension of this exposition every step was documented and all the necessary cartographic facts were added.

The main objective of this application is to provide cartographic beginners with an overview of different map projections. More than 60 different map projections of Europe and the whole world can be chosen and analysed for this purpose. More precisely, the user is able to fade layers in and out, use common navigational tools of an online-based geographic information system (like zoom-in, zoom-out, pan, scale bar, graphic scale) and activate popup-windows (e.g. information window, legend window). Moreover, the interface can be used without extensive previous knowledge and the interactions do not overlay and are terminated in short time.

The map behind the application, which uses free online spatial data, seems plastically because of a specific overlay and hill shade and professional due to different vector layers. Furthermore, Tissot's indicatrix helps the user to understand the equidistant, equivalent and the conformal distortion.

The ArcGIS Server is responsible for the publication of the map service and Adobe Flex SDK creates the interface with .mxml and actionscript. The prototype of the application will run on a GIS Server of the University of Vienna and will be available for the users through the internet. The main conditions for smooth usage are an installed web browser, the adobe flash player plug-in and internet access.



## Vorwort

Die Kartographie spielte für mich bereits in der frühen Kindheit eine große Rolle. Schon damals beschäftigte ich mich mit Atlanten und Landkarten und versuchte, mir die Aufteilung der Erde modellhaft vorzustellen. Mein Großvater verbrachte seine Zeit gern damit, mich das Lesen und Verstehen von Karten zu lehren und legte somit den Grundstein für meinen späteren Werdegang. Jahre später entschloss ich mich, an der Universität Wien das Studium der „Geographie und Regionalforschung“ und in weiterer Folge die Spezialisierung „Kartographie und Geoinformationen“ zu belegen. Diese Diplomarbeit, zum Abschluss des Studiums, ließ mich einen Einblick in die GIS-Webapplikationserstellung und tiefere Projektarbeit gewinnen. Besonders interessant sind daran die vielseitigen Anwendungsgebiete und die unbegrenzten Möglichkeiten des Aufbaus eines Geographischen Informationssystems.

Diese wissenschaftliche Arbeit soll Studienanfängern, die im Bachelorstudium die Lehrveranstaltung „Räumliche Bezugssystem“ absolvieren, als praxisorientierte Unterstützung dienen. Diese Anwendung steht jedoch auch allen anderen Interessierten zur Verfügung, die ihr kartographisches Verständnis und Wissen erweitern möchten.

Der größte Dank gilt selbstverständlich meinem Betreuer, Professor Wolfgang Kainz, für seine umfangreiche Unterstützung und Hilfestellung beim Ausarbeiten und Verfassen dieser Diplomarbeit. Auch Herrn Doktor Andreas Riedl, der mir die nötige Software und sein Wissen zur Verfügung gestellt hat, bin ich zu Dank verpflichtet. Ebenso bedanke ich mich hiermit bei meinen Eltern für die finanzielle und psychologische Unterstützung über die gesamte Dauer meiner schulischen Laufbahn hinweg. Zum Schluss möchte ich mich noch bei meiner Freundin und allen Studienkollegen/innen, die immer ein offenes Ohr für Fragen hatten und mich somit auch bei meinem Studium unterstützten.



# 1 Einleitung

Kartographie ist “... *the discipline dealing with the conception, production, dissemination and study of maps*“ [GRU-97 S.10], lautet eine sehr moderne Definition der International Cartographic Association (ICA). Unter anderem bezieht sich diese Deutung auch auf die Methoden der Kartenherstellung.

## 1.1 Einführung in das Thema

Die Erde ist ein dreidimensionaler Körper unseres Universums. Da die Form keine exakte Kugel ist und viele Unregelmäßigkeiten aufweist, verwendet man dafür in den Geowissenschaften den Begriff Geoid. Diese geometrische Figur kann man sich in Form einer Kartoffel mit Dellen und Erhebungen vorstellen. Die mathematische Annäherung an das Geoid ist das Rotationsellipsoid, da die Erde an den Polen etwas abgeflacht ist. Das Ziel der Kartographie ist, unter anderem diesen dreidimensionalen Körper in die zweidimensionale Ebene abzubilden, dass man nur einen geringen Informationsverlust (Verzerrungen) in Kauf nehmen muss.

Die Theorie der Kartennetzentwürfe versucht diese Verzerrungen, die sich anhand von Winkel-, Flächen- oder Längenverzerrungen auswirken, je nach Anwendungsbereich zu minimieren. Im Laufe der Zeit entstanden und entstehen noch heute unterschiedlichste Kartenabbildungen für verschiedenste Thematiken, für unterschiedlichste Maßstabsbereiche und Abbildungsbereiche der Erdoberfläche, usw.

Aufgrund dieser hohen Anzahl an unterschiedlichsten Kartennetzentwürfen ergibt sich die Nachfrage an einem Informationssystem, welches verschiedensten Nutzern eine Einführung in die Welt der Kartenabbildungen geben kann. Im heutigen, digitalen Zeitalter stellt das Internet eine optimale Plattform für kostenlose und ortsunabhängige Nutzung eines solchen Systems dar. Im Zuge dieser Diplomarbeit wird das Problem anhand eines Geographischen Informationssystems (GIS), das in eine Webapplikation eingebettet ist, gelöst. Damit soll der Nutzer über einen Internetbrowser und mit einem für ihn entwickelten Interface kommunizieren. Mit dieser GIS-Webapplikation wird die Möglichkeit geschaffen, den Maßstab zu verändern, die Position auf der Erdoberfläche frei zu bestimmen, verschiedene Informationen zur Abbildung zu erhalten, einige zusätzliche Layer zu aktivieren, ... und, als wichtigste Funktion zwischen verschiedensten Abbildungen wählen zu können. Die Zielgruppen der Applikation sind vorwiegend Amateurlkartographen, Studienanfänger der Kartographie, Interessierte, usw. Die Nutzer sollen einen Überblick über die Vielfalt an Kartennetzentwürfen bekommen und selbst herausfinden, welche am besten für bestimmte Anwendungsbereiche geeignet sind. Zum Beispiel verwendet man ...

- für die Navigation in der Schifffahrt: Abbildungen mit konformer (winkeltreuen) Eigenschaft,
- im Straßenverkehr: Abbildungen mit äquidistanter (längentreuen) Eigenschaft und
- bei einer thematischen Karte der Bevölkerungsdichte: Abbildungen mit äquivalenter (flächentreuer) Eigenschaft.

## 1.2 Forschungsstand und Zielsetzung

Nach aktuellen Recherchen gibt es nur wenige Applikationen, die diese Problematik behandeln. Dabei handelt es sich um Software, die nur offline angewendet werden kann, meist installiert werden muss und so Ressourcen am eigenen Computer verschlingt. Außerdem sind diese Systeme vorwiegend für Experten konzipiert und somit für die anzusprechende Zielgruppe nicht geeignet. Als Beispiele solcher Software sind G.Projector [SCH-11a] und Panobly [SCH-11b], welche von der National Aeronautics and Space Administration (NASA) entwickelt wurden und FlexProjector [JEN-11] von der Eidgenössischen Technischen Universität (ETH) Zürich, zu nennen. Im Internet findet man einige Webseiten, die sich näher mit den Kartennetzentwürfen beschäftigen und diese auch visuell veranschaulichen. Doch der derzeitige Forschungsstand weist in diesem Bereich eine Lücke auf, die mit dieser Diplomarbeit geschlossen werden soll.

Im Detail versucht diese Diplomarbeit folgende Fragen zu beantworten:

- Wie kann man einem kartographischen Anfänger die vielen unterschiedlichen Kartennetzentwürfe am Besten in einer Webapplikation aufbereiten, damit die Informationen problemlos kommuniziert werden?
- Wie soll das entsprechende Interface gestaltet werden, damit der Nutzer viele Interaktionsmöglichkeiten verwenden kann, ohne dass dieser überfordert wird? Hierbei ist nicht nur die Theorie wichtig, sondern auch die praktische Umsetzung.
- Welche Methoden eignen sich für die Erstellung der GIS-Webapplikation? Welcher Server, welche GIS-Software, welche Programmiersprache soll verwendet werden?

Wie bereits erwähnt, ist das vorrangige Ziel dieser Ausarbeitung dem kartographischen Neuling die verschiedenen Kartennetzentwürfe über eine GIS-Webapplikation zur Verfügung zu stellen. Der Nutzer soll die Möglichkeit haben, über ein entsprechendes Interface mit dem GIS zu kommunizieren. Die Informationen und das Interfacedesign werden der Zielgruppe entsprechend aufbereitet und durch die visuelle Wahrnehmung vom Computer zum Menschen übertragen. Eine wichtige Überlegung stellt auch die Einteilung der Kar-

tennetzentwürfe dar. Die Abbildungen sollen klassifiziert und zusammengefasst werden, damit der Nutzer eine strukturierte und übersichtliche Auswahl treffen kann.

Der Aufbau der Arbeit ist folgendermaßen strukturiert:

- Im ersten Kapitel wird kurz die Einführung in das Thema gegeben, die Zielsetzung und der Forschungsschwerpunkt geschildert.
- In den beiden folgenden Kapiteln befinden sich sowohl die theoretischen Grundlagen der Kartennetzentwürfe, als auch die Theorie des Interface (-designs) und dessen Informationsdarstellung. Es wird versucht, einen Überblick über diese beiden theoretischen Bereiche zu schaffen, an die der praktischen Teil aufbauen kann.
- Im vierten Kapitel wird das Ergebnis, die praktische Umsetzung, der wissenschaftlichen Arbeit dokumentiert. Die grundlegenden Daten, die verwendeten Programme, sowie die Applikation selbst werden erklärt und nachvollziehbar dargestellt.
- Am Ende findet man die Zusammenfassung mit der Diskussion des Ergebnisses.
- Der Quelltext der Anwendung und die Daten werden als Daten CD-ROM bereitgestellt.



## 2 Die theoretischen Grundlagen der Kartennetzentwürfe

In diesem Kapitel wird die Theorie der Kartennetzentwürfe, die als Hauptgrundlage des praktischen Teils dient, zusammengefasst und entsprechend dargestellt. Es soll dem Leser als Einstieg in die Materie dienen und somit dem einfachen Verständnis und der Nachvollziehbarkeit der Diplomarbeit unterstützen. Wichtige Begriffe werden erklärt, die theoretischen Grundlagen erläutert, die Einteilung der Netzentwürfe vorgestellt und verschiedene Abbildungen genauer betrachtet.

### 2.1 Begriffserklärung

In der deutschen Sprache dürfen Kartenabbildungen/Kartennetzentwürfen und Kartenprojektionen nicht gleichgesetzt werden. Bei den Abbildungen und Netzentwürfen handelt es sich um mathematische Gesetze der Abbildung, die in der Kartographie Verwendung finden. Das Wort Projektion (hingegen im Englischen und Französischen wird nicht unterschieden) bezieht sich laut Hake [HAK-02 S.53] auf spezielle Kartendarstellungen der Erdoberfläche. Man muss also bei der Wortwahl sehr genau sein.

#### **Bezugssystem**

Ein Bezugssystem (Reference System) ist ein grundlegendes System, um die ein-, zwei- und dreidimensionale Position von Geodaten bestimmen zu können. Es fixiert die Daten an eine bestimmte Stelle auf der Erdoberfläche. [BAR-05 S.213]

#### **Breitenkreise (Parallelkreise, Kleinkreise)**

Diese Kreise verlaufen parallel zum Äquator um die Erde. Der Parallelkreis wird angegeben in geographischer Breite  $\varphi$ , nördlich und südlich des Äquators von  $0^\circ$  bis  $90^\circ$  an den Polen.

#### **Ellipsoidische Höhe $h$**

Die ellipsoidische Höhe ist die Distanz entlang der Lotlinie zwischen einem Punkt P und dem Erdellipsoid. [BAR-05 S.214]

#### **Geodätisches Datum**

Ein geodätisches Datum gibt Auskunft über die Dimension, die Parameter des erdähnlichen Ellipsoides, so wie die Lage des Zentrums zum Schwerpunkt der Erde, Orientierung zu den Erdachsen, Beschreibung des Fundamentalpunktes (Ursprung an der Erdoberfläche) und die Orientierung zum Nullmeridian. [HAK-02 S.50] Es beschreibt also die Art und Weise, wie sich das Bezugssystem im Raum befindet. [BAR-05 S.215]

### **Geodätische Netze**

Diese Netze werden für beschränkte Abbildungen der Erdoberfläche im Maßstabsbereich von 1 : 500.000 und größer verwendet. Der Nullpunkt und die Koordinatenrichtung der geodätischen Koordinaten sind auf dem Bezugsellipsoid fixiert. Dadurch kann man durch eine Transformation aus den geographischen Koordinaten die rechtwinkelig-ebenen Koordinaten von Lagefest- und Netzpunkten errechnen. Weitere Unterschiede zum geographischen Netz sind:

- die geodätische Grundlage und die Objekte können digital bearbeitet werden;
- die Abbildungsverzerrungen müssen sehr gering ausfallen, also werden die Abbildungsflächen in der Nähe von Meridianstreifen, Breitenkreise, ... gesucht. [HAK-02 S.54]

### **Geographische Netze**

Diese werden vorwiegend für globale Koordinatensysteme kleinmaßstäbiger Karten (ab M: 1 : 500.000) verwendet. [HAK-02 S.54]

### **Kartennetze und Kartengitter**

Die Abbildung der Meridiane und der Breitenkreise, sowie deren Beziehung zueinander ist vom Kartennetzentwurf abhängig, dabei sind diese Kreise meist Geraden oder Kurven. Man bezeichnet dieses Zusammenspiel als Kartennetz, welches aber nicht der Basis eines rechtwinkelligen Koordinatensystems entspricht. Als Koordinatengitter wird in der Karte ein Gitter zur Unterstützung des rechtwinkelligen Koordinatensystems bezeichnet und mit x- oder y-Koordinaten oder mit Easting und Northing angegeben. [ILI-00 S.59-60]

### **Längenkreise (Meridiane, Großkreise)**

Meridiankreise verlaufen durch die Pole rund um die Erde und schneiden die Breitenkreise im rechten Winkel. Diese Kreise werden in geographischer Länge  $\lambda$ , westlich oder östlich von Greenwich von 0° bis 180° angegeben. [HAK-02 S.44-46]

### **Loxodrome**

Diese Kurve schneidet jeden Meridian unter einem bestimmten Winkel und ist deshalb auch für die Luft- und Seefahrt wichtig, da diese eine Erleichterung in der Navigation bringt. In der konformen Mercator-Abbildung wird diese Kurve als Gerade dargestellt. [HAK-02 S.63-64]

### **Orthodrome**

Die Orthodrome ist die kürzeste Verbindung zwischen zwei Punkten auf der Erdoberfläche. In einer ebenen Kartendarstellung wird diese als eine Kurve abgebildet, mit Ausnahme der gnomonischen Projektion, hier ist sie eine Gerade. Die Orthodrome wird in der Luft- und Schifffahrt verwendet. [HAK-02 S.62]

### **Orthometrische Höhe**

Die orthometrische Höhe  $H$  ist die Distanz entlang der Lotlinie zwischen einem Punkt  $P$  und der Geoidoberfläche. [BAR-05 S.217]

### **Das sphärische Viereck**

Unter einem sphärischen Viereck versteht man ein Viereck dessen Seiten aus Breitenkreisen und Meridianen bestehen. Das heißt die Seiten sind keine geraden Linien, sondern Kurven, die sich aber dennoch im rechten Winkel schneiden. Bei einem infinitesimalen, konvexen, sphärischen Viereck  $ABCD$  ist die Strecke  $ds$  die Verbindung zwischen  $A$  und  $C$ , also die Diagonale (siehe Abbildung 8). Man kann von einem Rechteck ausgehen, indem auch der pythagoreische Lehrsatz Anwendung findet. [BUG-95 S.10-11]

## **2.2 Kurze geschichtliche Entwicklung der Kartennetzentwürfe und der Erdgestalt**

### **Entwicklung der Kartennetzentwürfe**

Vor rund 2.000 Jahren entwickelten die Griechen Methoden, um die ihnen bekannte Erde mit Parallel- und Längengraden abzubilden. Ein Geograph der ersten Stunde, der mit den Anfängen der Kartennetzentwürfe in Verbindung gesetzt werden kann, war Claudius Ptolemäus. [BUG-95 S.xiv-xv]

In der Renaissance wurde die Kartographie stark weiterentwickelt. Aufgrund der regierenden Mächte und deren militärischen Kampagnen, durch des Handels und der Notwendigkeit der Navigation wurde die Nachfrage an hochgenauen und verlässlichen Kartenabbildung größer. Durch die Erstellung des Holländischen Atlases am Ende des 16. Jahrhunderts durch Abraham Ortelius und Gerardus Mercator gelang ein Geniestreich der Entwicklung der Kartennetzentwürfe. Mercator ist durch seine Abbildung noch heute weltbekannt. Zu dieser Zeit waren auch trapezförmige und ovale Abbildungen von Peter Apian weit verbreitet. [BUG-95 S.xiv-xv]

Im 18. Jahrhundert wurden in Europa, durch die Fortschritte in der Mathematik (Logarithmen, Differential- und Integralrechnung) und die Verwendung des Ellipsoids als Bezugssystem, neue Methoden für die Erstellung genauerer Karten entwickelt. Bekannte Au-

toren dieser Zeit hießen: Bonne, Lambert, Lagrange, Euler und De l'Isle. [BUG-95 S.xiv-xv]

Im 19. Jahrhundert stieg die Nachfrage nach großmaßstäbigen Militärkarten. Johann (Carl Friedrich) Gauß löste 1825 als erster das Problem der konformen Transformation einer Oberfläche in eine andere. Die kommerzielle Verbreitung der Karten stieg rasant an. 1805 wurden Mollweide und Albers (Deutsche), 1855 Gall (Schotte) und in den 1860-ern Clark und Airy (Engländer) mit ihren Netzentwürfen in ihrem Fachbereich weltbekannt. Im späten 19. Jahrhundert entwickelte Nicolas Auguste Tissot (Franzose) die generelle Theorie über die Verzerrung der Kartenabbildungen. [BUG-95 S.xiv-xv]

Anfang des 20. Jahrhunderts dominieren die Deutschen und Engländer: Eckert, Winkel, Maurer, Wagner. Später wurde durch Mailing auch die weitentwickelte russische Arbeit an Kartenabbildungen im Westen bekannt. [BUG-95 S.xiv-xv]

Die Entwicklung der Kartennetzentwürfe ist auf den Fortschritt verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen zurückzuführen. Die letzte revolutionäre Erfindung, die die Entwicklung der Kartenabbildungen maßgeblich beeinflusst, war der Computer. Diese Erfindung erleichtert uns heute die Datentransformation, die Berechnung von Verzerrungen, den Vergleich verschiedener Karten, das Verändern von Parametern in Kartenabbildungen usw. Schwierig zu konstruierende Kartennetzentwürfe können nun sofort gedruckt oder in einer GIS-Software verwendet werden. Der Anwendungsbereich und die Nutzergruppe werden aufgrund der verbesserten Computer immer größer. Doch durch den Anstieg der Nutzer steigt auch die Anzahl an unerfahrenen Anwendern, die ungeeignete Kartennetze für ihre Karten verwenden. [CAN-02 S.1-4]

### **Von der Scheibe zum Geoid**

Der Irrglaube die Erde sei eine Scheibe und am Rand würde man hinabstürzen, durchwanderte Jahrtausende bis ins 15. Jahrhundert. Doch schon früh in der Geschichte berechneten und erkannten dadurch Gelehrte wie Pythagoras (~500 vor Christus), Aristoteles (~350 v. Chr.) und Eratosthenes (~200 v. Chr.) die Kugelform der Erde. [HAK-02 S.39]

Isaac Newton formulierte 1687 seine weltberühmte Gravitationstheorie. Nach diesen neuen Erkenntnissen glaubte er nicht mehr an die Kugelgestalt der Erde sondern vermutete, dass es sich um ein Rotationsellipsoid handeln müsste. Die auf der Erdoberfläche existierende Gravitationskraft, welche sich aus der Anziehungskraft Richtung Erdinneren und der Fliehkraft normal zur Rotationsachse ergibt, brachte ihn zu dieser Schlussfolgerung. Die große Halbachse  $a$  ist die Äquatorachse und die kleine Halbachse  $b$  ist die Achse durch die Pole. Dieses Ellipsoid wurde in den letzten Jahrhunderten immer genauer berechnet, von

Bessel (1841) bis hin zum World Geodetic System 1984 (WGS 84), letzteres ist zurzeit für großmaßstäbige Karten in internationaler Verwendung. [HAK-02 S.39-40]

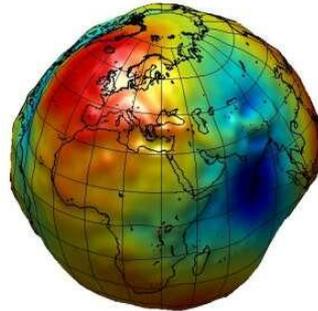


Abb. 1: Die Gestalt des Erdgeoids mit Erhöhungen (rot) und Vertiefungen (blau) [FRE-10]

Doch zwischen den zahlreichen Berechnungen und den Beobachtungen kam es immer wieder zu Differenzen. Also kann die Erdgestalt nur näherungsweise als Ellipsoid dargestellt werden. Hake [HAK-02 S.41] beschreibt das physikalische Modell der Erde wie folgt: Es ist ein Modell „... einer ruhend gedachten Meeresoberfläche, die man sich auch unter den Kontinenten – etwa durch ein System kommunizierender Röhren – fortgesetzt denken kann.“ Listing bezeichnete 1873 diese dreidimensional Gestalt als Geoid (siehe Abbildung 1 und 2), eine Fläche gleichen Schwerepotenzials. Die Oberfläche wird in allen Punkten von den Lotrichtungen senkrecht geschnitten. Da die Erde unregelmäßige Massenverteilungen unterworfen ist (aufgrund der unterschiedlichen Dichte, Höhe, Materialien, ...) ist die Geoidfläche gewellt, die Form wird in der Fachliteratur oft mit einer Kartoffel, wie oben bereits darauf hingewiesen verglichen. [HAK-02 S.41]

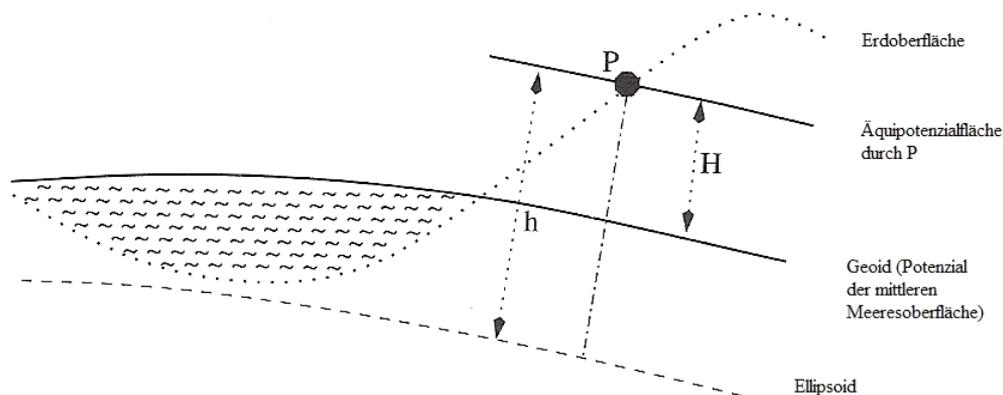


Abb. 2: Der schematisch dargestellte Zusammenhang zwischen Ellipsoid und Geoid und dem Unterschied zwischen der orthometrischen Höhe  $H$  und der ellipsoidischen Höhe  $h$  nach [BAR-05 S.214].

## 2.3 Koordinatensysteme

### Sphärisches Koordinatensystem

Als einfaches Annäherungsmodell der Erde kann die Kugel verwendet werden. Punkte auf der Kugel kann man mit Hilfe von sphärischen Koordinaten bestimmen. Dabei handelt es sich um die Höhe über der Kugeloberfläche, die geographische Breite als Winkel zwischen einem Punkt und dem Äquator und zwar nördlich bzw. südlich davon und die geographische Länge als Winkel zwischen dem Nullmeridian in Greenwich und einem Punkt in der Äquatorebene. Wichtig in diesem Koordinatensystem sind die parallelen Breitenkreise und die gleich langen Meridiane. Dieses System lässt sich für Erddarstellungen mit geringerem Genauigkeitsanspruch verwenden. [ILI-00 S.8-9]

### Ellipsoidisches Koordinatensystem

Eine bessere Anpassung eines Modells an die Erdgestalt stellt das Ellipsoid dar. Diese dreidimensionale geometrische Form ist eine um die kleinere Achse rotierende Ellipse. Die Abplattung der Erde an den Polen, lässt sich anhand der Masse und der Fliehkraft, die durch die Erdrotation entsteht, begründen.

Ein Ellipsoid besteht aus einer großen Halbachse  $a$  und einer kleinen Halbachse  $b$ . Mit diesen beiden Parametern kann man die Abflachung  $f$  (ein Faktor, der die Ähnlichkeit zur Kugel angibt) bestimmen [ILI-00 S.9-11]:

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (1)$$

Exzentrizität  $e$ :

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad (2)$$

Beziehung zwischen Exzentrizität  $e$  und Abflachung  $f$  zueinander:

$$e^2 = 2 * f - f^2 \quad (3)$$

Zusammenhang zwischen Exzentrizität  $e$ , Abflachung  $f$  und den Halbachsen  $a$  und  $b$  zueinander:

$$\sqrt{1 - e^2} = 1 - f = \frac{a}{b} \quad (4)$$

Mit den vorher bestimmten Parametern kann man problemlos die ellipsoidische Höhe, die geographische Breite und Länge bestimmen. Diese Koordinaten werden auch als geodätische Koordinaten bezeichnet und kommen im globalen Maßstab vor. Stimmt der Pol eines ellipsoidischen Koordinatensystems mit dem Pol eines geographischen Koordinatensystems überein, so kann man die geodätischen Koordinaten auch als geographische bezeichnen.

## Geozentrisches Koordinatensystem

Dieses Koordinatensystem wird als globales System, ohne Nutzung einer Bezugsfläche, für die Satellitentechnik, Navigation, Astronomie und andere Bereiche verwendet. Dabei handelt es sich um ein dreidimensionales System mit Zentrum im Erdschwerpunkt, Z-Achse in der mittleren Rotationsachse, XY-Ebene in der mittleren Äquatorebene und XZ-Ebene in der mittleren Meridianebene von Greenwich. [HAK-02 S.46]

Die zurzeit häufig verwendeten Satelliten Referenz Systeme sind das World Geodetic System 1984 (WGS84) und das Geodetic Reference System 1980 (GRS80), die sich nur gering voneinander, hinsichtlich Abplattung, unterscheiden. Das genaueste Koordinaten Bezugssystem ist das International Terrestrial Reference Framework (ITRF), mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich. Dieses System wurde von der International Earth Rotation Service (IERS) entwickelt und wird noch weiter überwacht. [ILI-00 S.24-26]

Der Zusammenhang zwischen geozentrischen und geographischen Koordinaten ergibt sich aus folgenden Überlegungen [BUG-95 S.1-3]:

- Zunächst braucht man die Krümmungsradien der Ellipse (Meridian- und Querkrümmungsradien  $M$  und  $N$ ). Unter einem Krümmungsradius versteht man den Radius jenes Kreises, der sich an einem gegebenen Punkt einer Kurve am besten anfügt. Zur Berechnung des Meridian- Querkrümmungsradius  $M$  und  $N$  benötigt man die große Halbachse  $a$ , die Exzentrizität  $e$  und die geographische Breite  $\varphi$  eines bestimmten Punktes.

$$M = \frac{a \cdot (1 - e^2)}{\sqrt{(1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi)^3}} \quad (5)$$

$$N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \quad (6)$$

Vergleicht man die Formeln (5) und (6) mit einander, so muss  $N \geq M$  sein. Torge [TOR-03 S.87] kommt zu folgender Überlegung:

An den Polen ( $\varphi = \pm 90^\circ$ ), Polkrümmungsradius

$$c = M_{90} = N_{90} = \frac{a^2}{b} \quad (7)$$

Und am Äquator ( $\varphi = 0^\circ$ )

$$M_0 = \frac{b^2}{a}, N_0 = a \quad (8)$$

- Bei gegebener geographischer Breite  $\varphi$  und Länge  $\lambda$ , den Querkrümmungsradius  $N$  und der Höhe  $h$  über dem Ellipsoid (Oberfläche) kann man die geozentrischen Koordinaten  $X$ ,  $Y$  und  $Z$  eines Punktes aus den geodätischen Koordinaten berechnen.

$$X = (N + h) * \cos \varphi * \cos \lambda \quad (9)$$

$$Y = (N + h) * \cos \varphi * \sin \lambda \quad (10)$$

$$Z = [N(1 - e^2) + h] * \sin \lambda \quad (11)$$

### Ebene Koordinatensysteme

Zur Darstellung von Karten im mittleren und großen Maßstab empfiehlt es sich rechtwinkelige Koordinaten der Landesvermessung zu verwenden. Hier werden die positive x-Achse (nach oben) und die positive y-Achse (nach rechts) abgebildet. Dabei handelt es sich um ein lokales Koordinatensystem, das aber durch Aneinanderreihung von Abbildungsbereichen zu einem globalen System (z. B. UTM-System) ergänzt werden kann.

Man unterscheidet bei den ebenen Koordinatensystemen zwischen rechtwinkelig und polar (siehe Abbildung 3). Beim erstgenannten stehen die Achsen normal zueinander und man kann mit rechtwinkligen Koordinaten einen Punkt genau bestimmen. Im Unterschied dazu werden die polaren Koordinaten mit einem Radius und einem Richtungswinkel angegeben. In diesem Fall gibt es nur eine Achse mit einem Ursprung. [HAK-02 S.47]

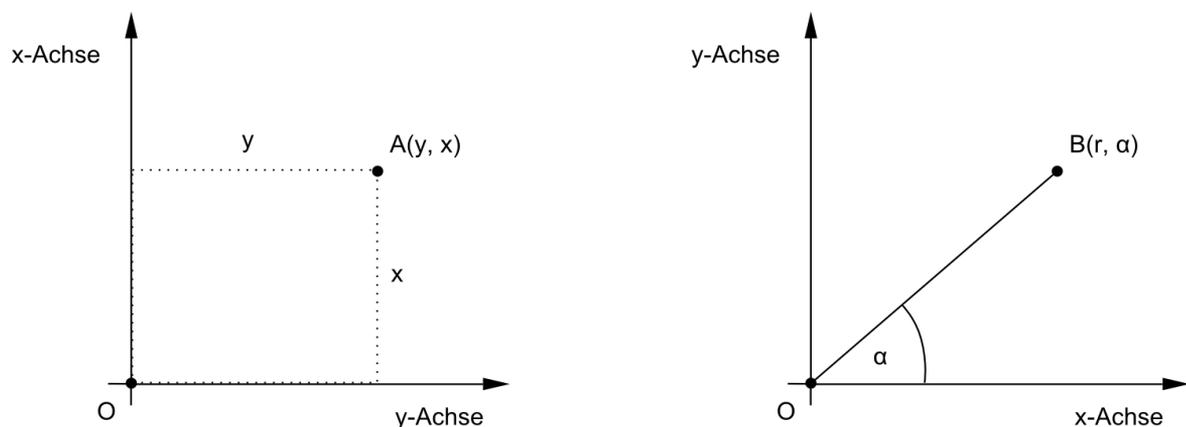


Abb. 3: Ebene Koordinatensysteme (Koordinatensystem der Landvermessung und polares Koordinatensystem), eigene Darstellung, nach Mailing [MAI-94 S.29, 34]

## 2.4 Grundlagen der Kartennetzentwürfe

Es gibt zwei wichtige Gründe, warum man dreidimensionale Daten auf eine flache Oberfläche transformiert: Einerseits können die Informationen besser in einem zweidimensionalen Format präsentiert werden (z.B. auf einem Blatt Papier oder auf dem Computerschirm), andererseits können geodätische Koordinaten in ein zweidimensionales Koordinatensystem umgewandelt werden, was zum Vorteil hat, dass nicht so viele Computerressourcen verbraucht werden (z.B. Berechnung der Distanz). [ILI-00 S.58]

### 2.4.1 Abbildung der Erdoberfläche auf eine Karte

Im mathematischen Sinne ist ein Kartennetzentwurf eine eins zu eins Beziehung zwischen Punkten einer Datumsoberfläche und Punkten einer Kartenoberfläche (Projektionsoberfläche). Beziehungen zwischen diesen Oberflächen können mathematisch als Relationen und Funktionen beschrieben werden:

$$u = f(U, V) \quad (12)$$

$$v = g(U, V) \quad (13)$$

Diese Funktionen beschreiben in allgemeiner Form das Abbildungssystem und den Charakter der Abbildung. Wie bereits erwähnt, visualisiert eine globale Karte zweidimensionale Daten des dreidimensionalen Objektes, der Erde. Kartennetzentwürfe sollen die wirkliche Erde in der Ebene darstellen. [CAN-89 S.3-4]

Ein Punkt auf der Erdoberfläche kann mit den ellipsoidischen Koordinaten (geographische Breite  $\varphi$ , geographische Länge  $\lambda$ ) genau lokalisiert werden. In der Ebene wird der Punkt in einem rechtwinkligen Koordinatensystem  $(x, y)$  (oder mit polaren Koordinaten  $(r, \alpha)$ ) angegeben.

Beispiel eines rechtwinkligen Koordinatensystems:

$$x = f(\varphi, \lambda) \quad (14)$$

$$y = g(\varphi, \lambda) \quad (15)$$

Diese Funktionen  $f$  und  $g$  definieren ein einheitliches Projektionssystem und bestimmen die Charakteristiken der Projektion. Die eins zu eins Übereinstimmung zwischen der Erde und der Karte ist über den gesamten Bereich nicht zufriedenstellend (z.B. kann man als Irregularitäten die Abbildung der Pole als Linien nennen). [CAN-89 S.3-4]

### Transformation der Erde auf die Karte

Die Erde muss in ihrer Größe und Form an eine mathematische Figur angepasst werden. Diese mathematische Gestalt erhält man mit der Bestimmung des Datums und ist im kleinmaßstäbigen Bereich eine Kugel. Da die Karte eine kleinmaßstäbige Repräsentation der Erde ist, muss die mathematische Figur der Erde durch eine Maßstabsreduktion zu einem so genanntem „Generating Globe“, eine kleiner Kugel, transformiert werden. Diese Verkleinerung  $S_N$  kann durch folgendes Verhältnis zwischen dem Radius des „Generating Globes“  $R$  und dem Radius der Kugel  $R_E$  angegeben werden:

$$S_N = \frac{R}{R_E} \quad (16)$$

Schließlich kann mit Hilfe der Funktionen (14) und (15), die Kartenabbildung des „Generating Globes“ in eine Karte transformiert werden. Es gibt keine Objekte die ohne Deformierung dargestellt werden. Es treten also Verzerrungen auf, die so klein wie möglich gehalten werden sollen [CAN-02 S.5-7].

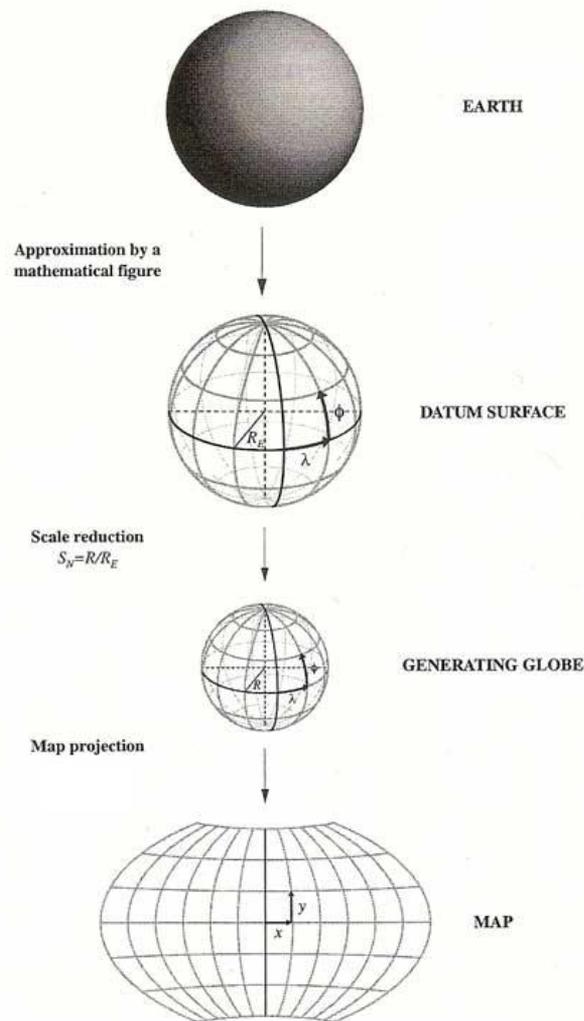


Abb. 4: Der Kartenabbildungsprozess [CAN-02 S.6]

#### 2.4.2 Der Maßstab

Aufgrund des Auftretens von Verzerrungen bei der Abbildung von Features auf der Erdoberfläche in die Ebene ist der Maßstab nicht konstant. Der Maßstab gibt das Verhältnis der Distanz einer Strecke in der Abbildung und der Distanz einer Strecke in der Natur (auf

der Erdoberfläche) an. Angegeben wird dieser immer durch einen Bruch mit dem Zähler 1 wie etwa:

- 1 : 50.000 (z.B. Österreich Karte 1 : 50.000)
- 1 : 200.000 (z.B. Österreich Karte 1 : 200.000)
- 1 : 1.000.000 (z.B. Schweizer Landeskarte 1 : 1.000.000)
- ...

Man muss sich aber im Klaren darüber sein, dass ein bestimmter Maßstab nicht in allen Richtungen gleich ist, sondern nur für eine kleine (in der Theorie eine unendlich kleine) Strecke zutrifft. Der ideale Maßstabsfaktor beträgt eins, es gibt keine Verzerrungen. Also der Maßstab ist für alle Abstände auf der Karte gleich, überall auf der Karte konstant und von der Richtung unabhängig. In der zweidimensionalen Ebene ist so etwas leider nicht möglich, dies findet man nur auf der Kugel. [ILI-00 S.60-61]

#### *2.4.3 Verzerrungen als Resultat der Abbildung dreidimensionaler Informationen in die zweidimensionale Ebene*

Wie bereits erwähnt, ist es unmöglich Daten der Erdoberfläche in der Ebene abzubilden, ohne dabei Informationen zu verlieren. Man stelle sich einen Fußball und eine Briefmarke vor. Versucht man nun die Marke glatt, ohne Falten auf die Oberfläche der Kugel zu bringen, so gelingt das ohne größere Probleme. Zurückzuführen ist dieses Experiment die Elastizität des Materials. Substituiert man in einem weiteren Schritt den Fußball mit einem Tischtennisball, so gelingt dieses Experiment nicht mehr. Ohne Einschneiden oder dem Entstehen von Falten kann die Briefmarke nicht mehr auf die Oberfläche der Kugel geklebt werden. Dieser Versuch zeigt, dass man in einer Abbildung der gesamten Erde (globale Abbildungen z.B. Mollweide) in die Ebene mit größeren Verzerrungen rechnen muss, als wenn die Erdoberfläche durch viele kleine Abbildungen im größeren Maßstabsbereich zusammengesetzt wird (z.B. Universal Transversal Mercator Abbildung UTM). [MAI-92 S.83-84]

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Verzerrungsmöglichkeiten die auftreten können:

- Längenverzerrung
- Flächenverzerrung
- Winkelverzerrung

In der folgenden Graphik können die Verzerrungen eines auf der Erdoberfläche befindlichen Quadrats ( $1 \times 1$ ) in dessen Abbildung (Verzerrungen entlang der Breiten- und Längengrade  $k_p \times k_m$ ) sichtbar gemacht werden.

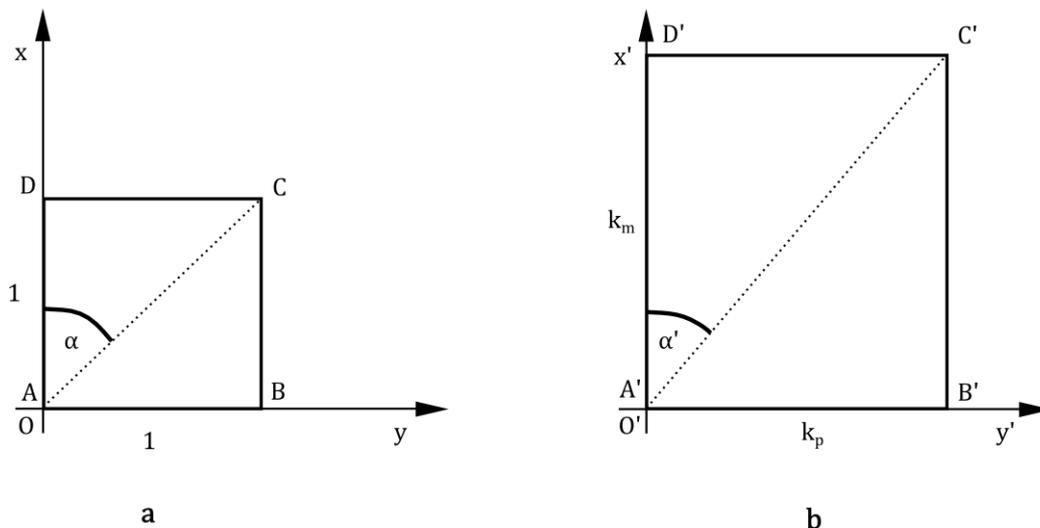


Abb. 5: Abbildung eines Quadrates der Erdoberfläche in die Ebene, eigene Darstellung nach [ILI-00 S.61]

Wie man an dem allgemeinen Beispiel in Abbildung 5b erkennen kann, treten hier Längenverzerrungen entlang den Groß- und Kleinkreisen (unterschiedliche Länge zueinander und unterschiedliche Längen als in Abbildung 5a), Flächenverzerrung (unterschiedliche Flächen der Vierecke) und Winkelverzerrungen (unterschiedlicher Winkel  $\alpha$  und  $\alpha'$ ) auf.

### Linien und Punkte ohne Verzerrungen

Diese Bereiche einer Karte definiert Mailing [MAI-92 S.89] folgendermaßen:

- Linien ohne Verzerrungen sind Linien eines Kartennetzentwurfes auf denen der Kartenmaßstab konstant ist. Sie entsprechen gewissen Ausschnitten der Breiten- und Längengrade.
- Punkte ohne Verzerrungen sind Punkte eines Kartennetzentwurfes, an denen der Maßstab erhalten bleibt.

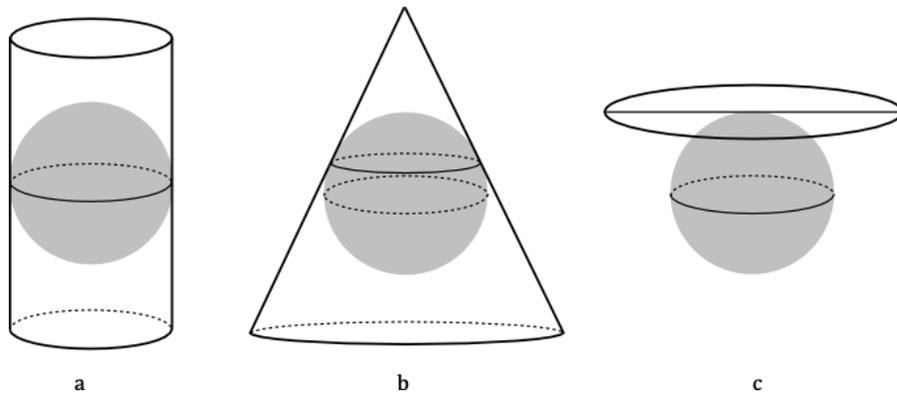


Abb. 6: Linien und Punkte ohne Verzerrungen unterschiedlicher Abbildungsflächen, eigene Darstellung nach [MAI-92 S.89-90]

Die häufigsten und am einfachsten zu verwendenden Abbildungsflächen sind der Berührungszylinder (siehe Abbildung 6a), der Berührungskegel (siehe Abbildung 6b) und die Berührungsebene (Tangentialeben, siehe Abbildung 6c). Am Berührungspunkt oder an der Berührungslinie, an denen sich die beiden Flächen berühren, ist der Maßstab gleich eins, es gibt keine Verzerrung. Mit der Entfernung steigt die Verzerrung. Welche Abbildungsfläche man verwendet, hängt vom Maßstab und von der abzubildenden Region ab. [ILI-00 S.61-62]

Der Berührungszylinder besitzt eine Berührungslinie (Äquator) ohne Verzerrungen. Die Schnittlinie (Breitenkreis) zwischen Erde und Kegel weist keine Verzerrungen auf und jeder Winkel der Ebene ist gleich dem sphärischen Winkel auf der Kugel.

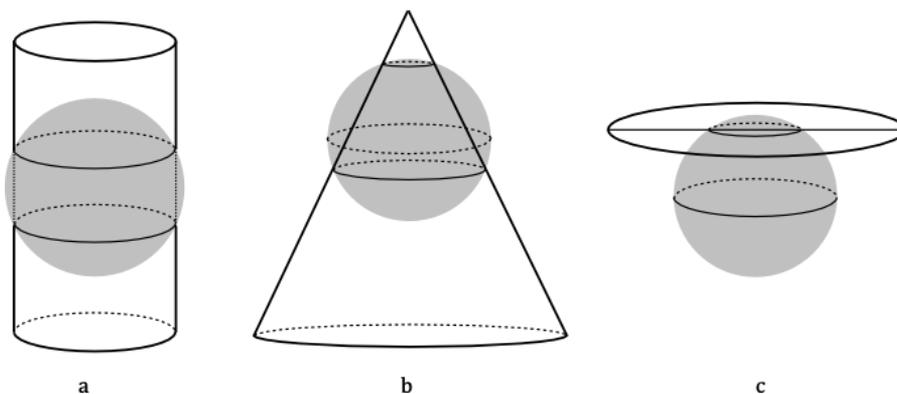


Abb. 7: Linien ohne Verzerrungen unterschiedlicher Schnittfiguren, eigene Darstellung nach Mailing [MAI-92 S.91-92]

Schneidet man die Abbildungsfläche mit der Erde, wie in der Abbildung 7 dargestellt, so ergibt sich für den Schnittzylinder (siehe Abbildung 7a) eine zweite Linie ohne Verzerrungen. In diesem Fall handelt es sich um zwei verzerrungsfreie Breitenkreise. Ein weiterer

Vorteil ist, dass die Verzerrungsunterschiede angeglichen werden. Das Selbe trifft auch für den Schnittkegel zu. Mit dieser Abbildungsmethode erhält man auch einen weiteren verzerrungsfreien Breitenkreis. Bei der Verwendung einer Schnittebene erhält man eine verzerrungsfreie Schnittlinie, einen Breitenkreis statt einem Punkt.

### **Die Differentialgeometrie der Kugel und der Ebene**

Bei einer infinitesimalen Verkleinerung einer Figur auf der Kugel und der infinitesimalen Verkleinerung der korrespondierenden Figur in der Ebene ergeben sich folgende zwei Konsequenzen:

- Die Linien in den Figuren werden nach und nach zu Geraden.
- Die Winkel zwischen den Linien bleiben erhalten.

Also wird ein sphärisches Viereck ABCD, dessen Seiten aus Breiten- und Längenkreise bestehen und die sich im rechten Winkel schneiden, als Rechteck mit geraden Linien abgebildet (siehe Abbildung 8). Die Transformation dieser Figur ABCD in die zweidimensionale Ebene ergibt ein Parallelogramm in einem rechtwinkligen Koordinatensystem xy mit den Eckpunkten A'B'C'D'. Das Verhältnis zwischen der Strecke A'B' und AB kann man mit dem Faktor h beschreiben:

$$\frac{A'B'}{AB} = h \quad (17)$$

Und das Verhältnis zwischen der Strecke A'D' und AD kann man mit dem Faktor k beschreiben:

$$\frac{A'D'}{AD} = k \quad (18)$$

Der Faktor h gibt die Längenverzerrung entlang der Breitenkreise und der Faktor k die Längenverzerrung entlang der Längenkreise an. Diese beiden Hauptverzerrungen ergeben sich aus dem Verhältnis zwischen einem unendlich kleinen Abstand in einem Punkt auf der Karte und dem entsprechenden Abstand auf der Erdoberfläche. [MAI-92 S.94-98]

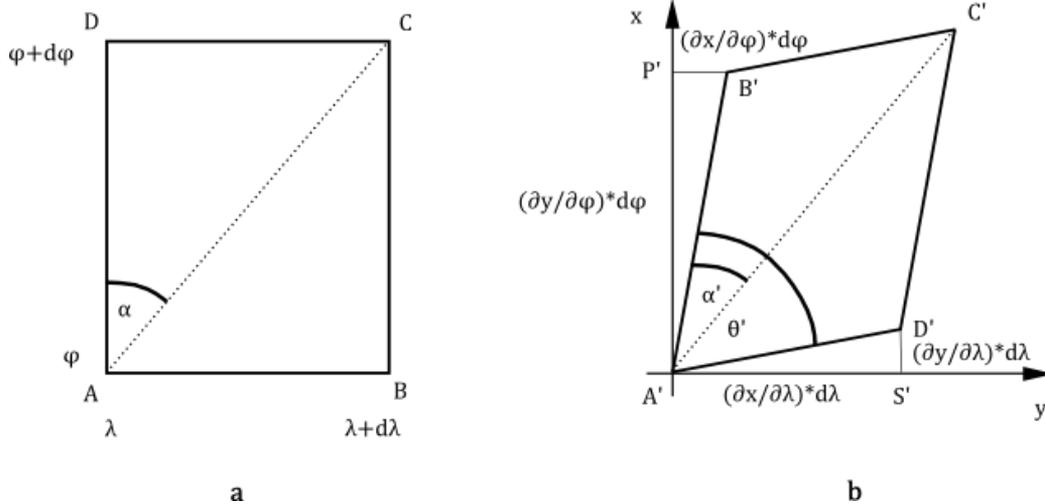


Abb. 8: Die Abbildung a zeigt ein unendlich kleines sphärisches Viereck ABCD und b die Repräsentation des unendlich kleinen sphärischen Vierecks in der Ebene (Karte) als Parallelogramm A'B'C'D', eigene Darstellung nach Mailing [MAI-92 S.94-95].

#### 2.4.4 Ersten Fundamentalgrößen der Gaußschen Theorie

Carl Friedrich Gauß (1777-1855) war einer der größten deutschen Persönlichkeiten im Bereich der Mathematik und der Astronomie im 18. und 19. Jahrhundert. Neben den Naturwissenschaften konzentrierte sich Gauß ab 1820 auch auf geodätische Aufgaben. In der Geodäsie, die auch die Kartographie maßgeblich beeinflusst, widmete sich der Wissenschaftler den Untersuchungen krummer Flächen im dreidimensionalen euklidischen Raum, [GOE-10]

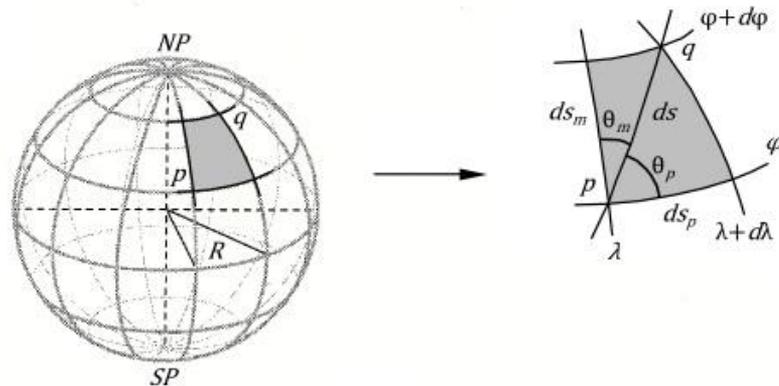


Abb. 9: Ein sphärisches Viereck am „Generating Globe“ nach Canters [CAN-02 S.8]

Gauß entwickelte eine Methode, um Punkte vom „Generating Globe“ auf die Karte zu transformieren. Seine Überlegungen gründeten auf folgender Annahme (siehe Abbil-

ung 9): Man nimmt ein lineares Element einer unendlich kleinen Strecke zwischen zwei Punkten  $p$  und  $q$ .

$$ds = p * q \quad (19)$$

Der Schnittpunkt der Breitenkreise ( $\varphi$  und  $\varphi+d\varphi$ ) und der Meridiane ( $\lambda$  und  $\lambda+d\lambda$ ) durch die Punkte  $p$  und  $q$  in einem unendlich kleinen konvexen sphärischen Viereck, kann als flaches infinitesimales Rechteck gesehen werden. Nach diesen Überlegungen von Gauß in [CAN-02 S.7-8] kann die unendlich kleine Strecke  $ds$  wie folgt mathematisch beschrieben werden:

$$ds = \sqrt{(R * d\varphi)^2 + (R * \cos \varphi * d\lambda)^2}, \quad R \text{ ist der Radius} \quad (20)$$

Für die Strecke entlang eines Meridians und eines Breitenkreises kann man folgende Gleichungen verwenden:

$$AB = ds_m = R * d\lambda \quad (21)$$

$$AD = ds_p = R * \cos \varphi * d\lambda \quad (22)$$

Den Winkel  $\theta_m$ , der auch Azimut  $A$  genannt wird, misst man von Norden im Uhrzeigersinn bis zur Strecke  $ds$  und kann wie folgt berechnet werden [CAN-02 S.8]:

$$\tan A = \frac{R * \cos \varphi * d\lambda}{R * d\varphi} = \cos \varphi * \frac{d\lambda}{d\varphi} \quad (23)$$

Projiziert man das sphärische Viereck in die Ebene, so treten Verzerrungen auf. Folgt man der Annahme von Gauß und das Viereck ist unendlich klein, so sind die Seiten und Diagonalen, gerade Linien. Nach Pythagoras gilt [CAN-02 S.8-9]:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 \quad (24)$$

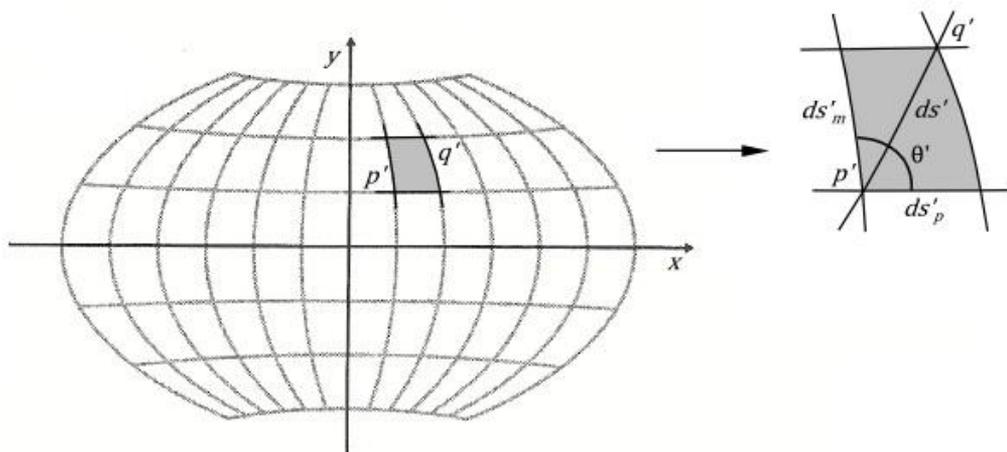


Abb. 10: Das sphärische Viereck in die Ebene projiziert nach Canter [CAN-02 S.8]

Differenziert man die Gleichungen (14) und (15)

$$dx = \frac{\partial x}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial x}{\partial \lambda} d\lambda \quad (25)$$

$$dy = \frac{\partial y}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial y}{\partial \lambda} d\lambda \quad (26)$$

Und substituiert  $dx$  und  $dy$  in der Gleichung (24) so erhält man:

$$ds^2 = \left( \frac{\partial x}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial x}{\partial \lambda} d\lambda \right)^2 + \left( \frac{\partial y}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial y}{\partial \lambda} d\lambda \right)^2 \quad (27)$$

Am Ende dieser Herleitung erhält man die Gleichung

$$ds'^2 = E * d\varphi^2 + 2 * F * d\varphi * d\lambda + G * d\lambda^2, \quad (28)$$

und die ersten Gaußschen Fundamentalgrößen E, F und G, die noch später für die Verzerrungen wichtig werden:

$$E = \left( \frac{\partial x}{\partial \varphi} \right)^2 + \left( \frac{\partial y}{\partial \varphi} \right)^2 \quad (29)$$

$$F = \frac{\partial x}{\partial \varphi} * \frac{\partial x}{\partial \lambda} + \frac{\partial y}{\partial \varphi} * \frac{\partial y}{\partial \lambda} \quad (30)$$

$$G = \left( \frac{\partial x}{\partial \lambda} \right)^2 + \left( \frac{\partial y}{\partial \lambda} \right)^2 \quad (31)$$

#### 2.4.5 Berechnung der Hauptverzerrungen

Ist eine Abbildung als Funktionen  $f$  und  $g$  (siehe Formel (14) und (15)) gegeben, so berechnet man die Hauptverzerrungen  $h$  und  $k$  entlang der Breiten- und Längenkreise und den Winkel  $\theta'$  wie folgt [MAI-92 S.94-99]:

Das Verhältnis aus der projizierten Strecke  $ds'$  (siehe Abbildung 10) und der originalen Strecke  $ds$  (siehe Abbildung 9) ergibt die Längenverzerrung einer bestimmten Richtung in einem bestimmten Punkt  $\mu$ :

$$\mu = \frac{ds'}{ds} = \sqrt{\frac{E*d\varphi^2 + 2*F*d\varphi*d\lambda + G*d\lambda^2}{(R*d\varphi)^2 + (R*\cos\varphi*d\lambda)^2}} \quad (32)$$

Substituiert man die Gleichung (32) mit der Formel des Azimutwinkels (23), da sich die Längenverzerrung von Punkt zu Punkt unterscheidet und in alle Richtungen variiert, so erhält man folgende Gleichung:

$$\mu^2 = \frac{E}{R^2} * \cos^2 A + \frac{G}{R^2 * \cos \varphi} * \sin^2 A + \frac{2*F}{R^2 * \cos \varphi} * \sin A * \cos A \quad (33)$$

Die Hauptverzerrung  $h$  entlang der Meridiane lässt sich nun folgendermaßen darstellen (siehe Abbildung 8):

$$A'B'^2 = B'P'^2 + A'P'^2 = \left[ \left( \frac{\partial x}{\partial \varphi} \right) * d\varphi \right]^2 + \left[ \left( \frac{\partial y}{\partial \varphi} \right) * d\varphi \right]^2 = \sqrt{E} * d\varphi \quad (34)$$

Setzt man die Ergebnisse aus den Überlegungen (21) und (34) in die Formel (17), so ergibt sich für h:

$$h = \frac{\sqrt{E} * d\varphi}{R * d\varphi} = \frac{\sqrt{E}}{R} \text{ und bei } R = 1 \text{ ergibt sich } h = \sqrt{E} \quad (35)$$

Die gleichen Schritte wie zuvor treffen auch für Hauptverzerrung k entlang der Breitenkreise (siehe Abbildung 8) zu:

$$A'D'^2 = A'S'^2 + D'S'^2 = \left[ \left( \frac{\partial x}{\partial \lambda} \right) * d\lambda \right]^2 + \left[ \left( \frac{\partial y}{\partial \lambda} \right) * d\lambda \right]^2 = \sqrt{G} * d\lambda \quad (36)$$

Verwendet man die Formeln (22) und (36) und substituiert diese in die Gleichung (18) dann erhält man:

$$k = \frac{\sqrt{G} * d\lambda}{R * \cos \varphi * d\lambda} = \frac{\sqrt{G}}{R * \cos \varphi} \text{ und bei } R = 1 \text{ ergibt sich } k = \frac{\sqrt{G}}{\cos \varphi} \quad (37)$$

Als letzter Schritt wird noch der Winkel  $\theta'$ , der rechte Winkel zwischen Längen- und Breitenkreise auf der Erdoberfläche, bestimmt:

$$\cos \theta' = \frac{F}{h * k * \cos \varphi} \quad (38)$$

Aufgrund dieser Überlegungen und daraus erhaltenen Gleichungen kann man die Längenverzerrung jedes Punktes eines Kartennetzentwurfes berechnen. Alle Verzerrungscharakteristiken lassen sich nun bestimmen:

- Längenverzerrung h in Richtung eines Meridians
- Längenverzerrung k in Richtung eines Breitenkreises
- Maximale Längenverzerrung a in einem Punkt
- Minimale Längenverzerrung b in einem Punkt

Durch die Berechnung der Längenverzerrung kann man die Tissotsche Indikatrix, sowie Konformität und Äquivalenz bestimmen.

#### 2.4.6 Die Verzerrungsellipse (Tissotsche Indikatrix)

Nicolas Auguste Tissot war ein französischer Mathematiker und Kartograph im 19. Jahrhundert (1824-1897). Der Naturwissenschaftler beschäftigte sich vorwiegend mit den Kartennetzentwürfen und publizierte in „Memoir sur la representation des surfaces et les projections des cartes geographiques“ 1881 das mathematische Prinzip der Verzerrungsellipsen. Er versuchte die unterschiedlichen Verzerrungen abhängig von den verschiedenen Positionen auf der Karte zu visualisieren. [LEG-10]

Tissot zeigt in seinen Überlegungen, dass ein unendlich kleiner Kreis auf der Erdoberfläche eine unendlich kleine Ellipse in der Kartenabbildung dargestellt wird. Diese Verzerrungsellipse wird auch als Tissotsche Indikatrix bezeichnet und besteht aus den Halbachsen  $a$  und  $b$ . Bei echten Netzentwürfen fallen die maximale und minimale Längenverzerrung mit den beiden Halbachsen  $a$  und  $b$  der Ellipse zusammen und sind daher in der Abbildung immer noch orthogonal. In jedem Punkt muss es zwei senkrechte Richtungen geben die sowohl auf der Erdoberfläche als auch im Abbild zueinander im rechten Winkel schneiden. Somit ist die Gestalt der Ellipse abhängig von der Längenverzerrung in der geographischen Breite und Länge. [CAN-02 S.11]

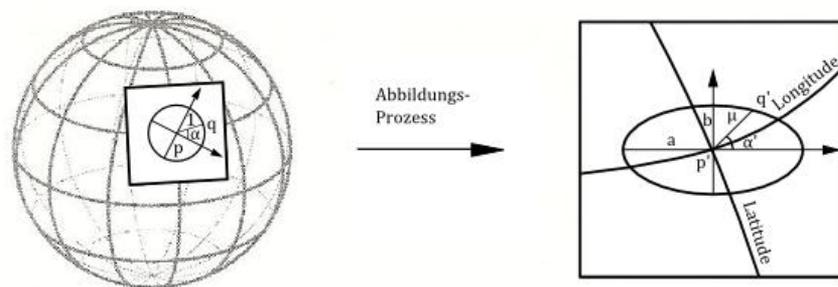


Abb. 11: Ein Kreis auf der Erdoberfläche wird zu einer Verzerrungsellipse in der Ebene [CAN-02 S.12]

Nach Abbildung 11 kann man die Längenverzerrung einer beliebigen Richtung  $\alpha$  wie folgt beschreiben [CAN-02 S.11-13]:

$$\mu = \sqrt{a^2 * \cos^2 \alpha + b^2 * \sin^2 \alpha} \quad (39)$$

$\alpha_p$  ist der Winkel der Breitenkreise von der positiven x-Achse und

$$\alpha_m = \alpha_p + \frac{\pi}{2}, \text{ ist der Winkel der Meridiane.} \quad (40)$$

Somit ergeben sich für die Hauptverzerrungen  $k$  und  $h$  folgende Aussagen:

$$k^2 = a^2 * \cos^2 \alpha_p + b^2 * \sin^2 \alpha_p \quad (41)$$

$$h^2 = a^2 * \cos^2 \alpha_m + b^2 * \sin^2 \alpha_m \quad (42)$$

Aufgrund der Orthogonalität:

$$h^2 = a^2 * \sin^2 \alpha_p + b^2 * \cos^2 \alpha_p \quad (43)$$

Kombiniert man die Gleichungen (41) und (42) miteinander, so erhält man das erste Theorem von Apollonius [MAI-92 S.103]:

$$h^2 + k^2 = a^2 + b^2 \quad (44)$$

Das zweite Theorem von Apollonius beschreibt die Flächenverzerrung  $p$  und ist sehr gut geeignet zum Beschreiben der Verzerrungscharakteristiken:

$$h * k * \sin \theta' = a * b = p \quad (45)$$

Allgemein kann man  $a$  und  $b$  wie folgt berechnen:

$$a \pm b = \sqrt{h^2 + k^2 \pm 2 * h * k * \sin \theta'} \quad (46)$$

Für die maximale Winkelverzerrung eines Punktes ergibt sich folgende mathematische Aussage:

$$2 * \sin \omega = \frac{a-b}{a+b} \quad (47)$$

Mithilfe dieser Formeln kann man die Verzerrungsellipse an jeder Position im Kartennetzentwurf bestimmen. Diese Art der Visualisierung eignet sich für jeden Anwender, um Verzerrungen klar darzustellen.

#### 2.4.7 Abbildungseigenschaften

Wie in den vorigen Kapiteln erläutert wurde, ist die Längenverzerrung von der Position und von der Richtung abhängig. Diese ist nur entlang von bestimmten Linien oder an bestimmten Punkten konstant. Die Definition nach Mailing [MAI-92 S.106] lautet: „*as the properties of a projection which arise from the mutual relationship between the maximum and minimum particular scales at any point and which are preserved at all except the singular points of a map.*”

Die Wahl des Kartennetzentwurfes hängt meist vom Zweck der Karte ab. Bei einer Wanderkarte wird eine äquidistante Abbildung Verwendung finden, um das Messen von Strecken verzerrungsfrei zu ermöglichen. In der Luft- und Schifffahrt benötigt man hingegen konforme Karten, um eine fehlerfreie Navigation zu gewährleisten. Und Geographen verwenden äquivalente Netzentwürfe, um ihre Untersuchungen bei einer Hangrutschung durchzuführen.

##### 2.4.7.1 Äquidistanz

Bei einem äquidistanten Kartennetzentwurf ändert sich der Maßstab in Richtung der Hauptverzerrungen nicht. Meist wird

$$h = 1, \quad (48)$$

das bedeutet die Längenverzerrung entlang der Meridiane ist konstant, verwendet. In Abbildung 12 schneiden die Breitenkreise die Meridiane im gleichen Abstand. Die Längen-

treue ist für Karten weniger wichtig, weil diese nur in einer bestimmten Richtung vorhanden ist. Doch die Vorteile dieser Eigenschaft liegen darin, dass die Flächenverzerrungen nicht so schnell zunehmen, als bei konformen Darstellungen und dass die maximale Winkelverzerrung weniger rasch ansteigt, als bei äquivalenten Darstellungen. Also stellen äquidistante Netzentwürfe einen Kompromiss zwischen den beiden Anderen dar. [MAI-92 S.108-109]

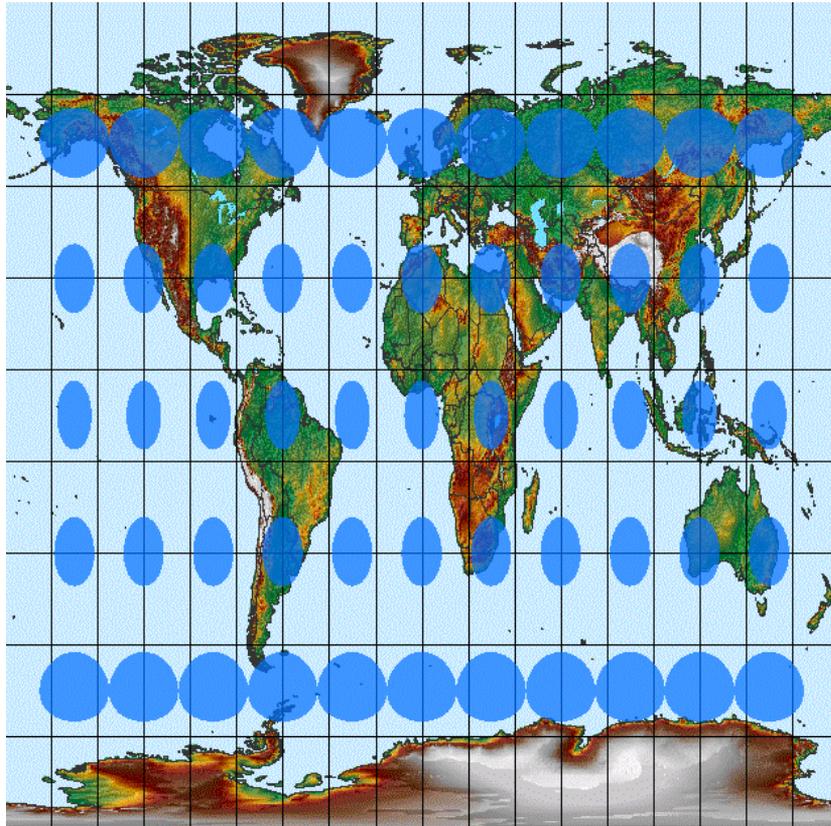


Abb. 12: Äquidistante Zylinderabbildung mit Verzerrungsellipsen und einem 20° Netz

#### 2.4.7.2 Äquivalenz

Diese Eigenschaft bildet die Tissotsche Indikatrix als Kreise und Ellipsen, mit dem gleichen Flächeninhalt an jeder Position auf der Karte, ab. Für flächentreue Abbildungen gilt folgendes:

$$a * b = 1 \quad (49)$$

In der thematischen Kartographie findet diese Abbildungseigenschaft große Bedeutung, wenn es darum geht, statistische Variablen in Flächen darzustellen (z. B. Bevölkerungszahl). In diesem Fall ist die Flächentreue ein wichtiger Aspekt, damit sich der Gesamteindruck der Karte nicht verfälscht. [MAI-92 S.107-108]

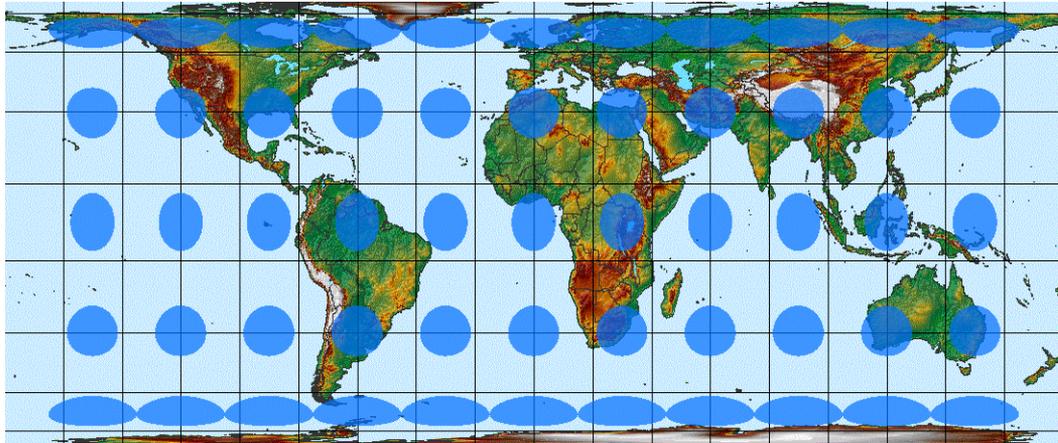


Abb. 13: Behrmanns äquivalente Zylinderabbildung mit Verzerrungsellipsen und einem  $20^\circ$  Netz

Die Darstellung in Abbildung 13 enthält zwei Standardparallelen in den Bereichen von  $30^\circ$  Breite. Diese Breitenkreise besitzen keine Verzerrung, daher bilden sich dort die Tissotschen Indikatrizien auch als konzentrische Kreise ab. Die Indikatrizien werden nicht mehr als Kreise visualisiert, deren Längenverzerrung je nach Richtung variiert. Durch die Orthogonalität des Kartennetzes der Zylinderabbildung stimmen die Achsen der Indikatrizien mit denen der Breiten- und Längskreise überein. Die Ellipsen und die Kreise besitzen den gleichen Flächeninhalt. An den Polen werden diese in die Länge und am Äquator in die Breite verzerrt. [CAN-02 S.16]

#### 2.4.7.3 Konformität

Bei einer konformen Darstellung gilt folgendes:

$$a = b \quad (50)$$

Die beiden Halbachsen der Tissotschen Indikatrizien sind gleich lang, das heißt die maximale Winkelverzerrung beträgt

$$2 * \omega = 0^\circ. \quad (51)$$

Die Verzerrungsellipsen werden überall als Kreise mit unterschiedlichem Radius abgebildet. Daraus folgt, dass alle Winkel erhalten bleiben. Im Abbild der Erdoberfläche bleiben alle Oberflächenformen in ihrer Gestalt bewahrt. Ein weiteres Merkmal dieser Abbildungseigenschaft ist die Orthogonalität der Netzlinien. Jedoch gilt der Umkehrschluss nicht. Wenn sich alle Breiten- und Längskreise im rechten Winkel schneiden, bedeutet das, dass es sich um eine konforme Abbildung handelt. [MAI-92 S.106-107]

Aufgrund der Flächen- und Längenverzerrungen werden die Kreise vom Äquator weg immer größer. Der Äquator ist der Großkreis ohne Längenverzerrung.

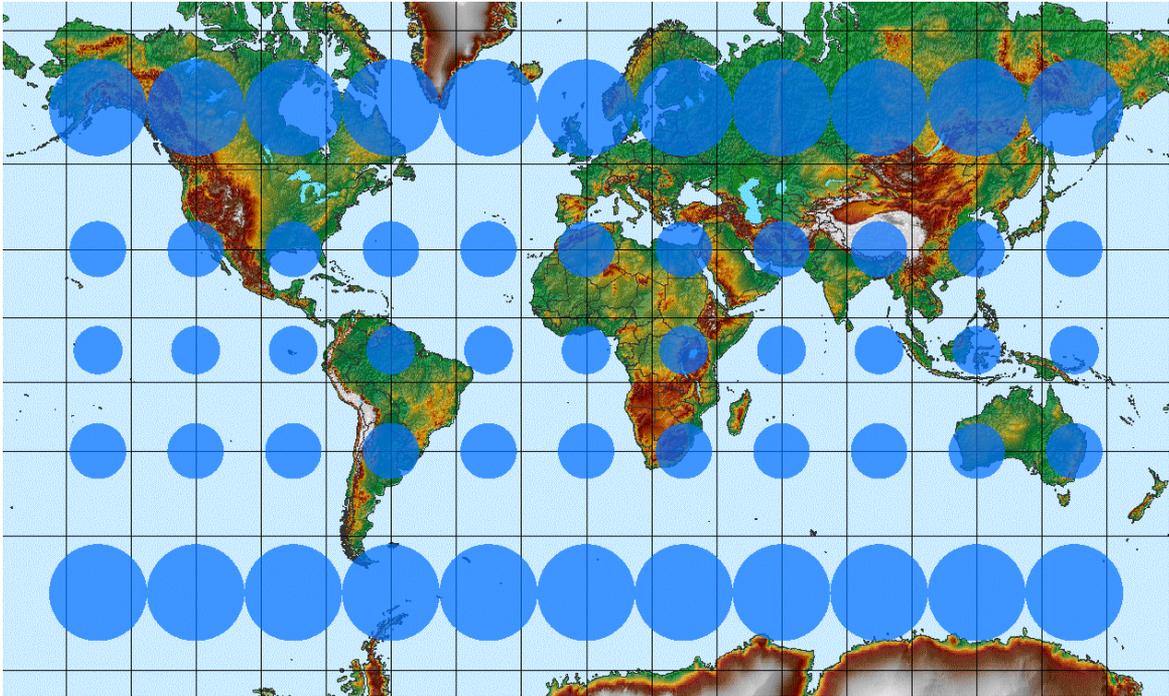


Abb. 14: Konforme zylindrische Mercator-Abbildung mit Verzerrungsellipsen und einem 20° Netz

#### 2.4.7.4 Vermittelnde Abbildungen

Vermittelnde Abbildungen versuchen die Verzerrungen minimal zu halten. Diese Kartennetzentwürfe vermitteln zwischen längen-, flächen- und winkeltreuen Darstellungen.

#### 2.4.8 Berechnung Verzerrungseigenschaften der Mercator-Abbildung

Bei der Mercator-Abbildung handelt sich um eine konforme Zylinderabbildung in normaler Lage. Die Linie ohne Verzerrung läuft daher durch den Äquator. Da es eine winkeltreue Darstellung ist, lassen sich die Parameter einfach berechnen. Wie in Abbildung 14 ersichtlich, werden bei einem konformen Kartennetzentwurf die Verzerrungsellipsen als Kreise mit unterschiedlichen Radien konstruiert. Die Pole befinden sich in dieser Darstellung unendlich weit vom Äquator entfernt und sind nicht darstellbar. Aufgrund der parallelen Meridiane und der Winkeltreue eignet sich diese Abbildung hervorragend für die Navigation in der Luft- und Schifffahrt. Eine gerade Strecke von A nach B schneidet jeden Meridian mit dem gleichen Winkel (den Azimutwinkel). Diese Linie bezeichnet die Fachliteratur als Loxodrome, die man aber nicht mit der Orthodromen, der kürzesten Verbindung auf der Erde, verwechseln darf. [ILI-00 S.72-73]

Die Abbildungsgleichung lautet [MAI-92 S.212-213]:

$$x = \ln \left( \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \right) \quad (52)$$

$$y = \lambda \tag{53}$$

Daraus kann man sich einfach Projektionskoordinaten errechnen. Als nächster Schritt werden die Hauptverzerrungen, die Flächenverzerrung und die maximale Winkelverzerrung berechnet:

$$h = k = \sec \varphi \tag{54}$$

$$p = \sec^2 \varphi \tag{55}$$

$$\omega = 0^\circ \tag{56}$$

Diese Berechnungen lassen sich rasch im Microsoft-Excel durchführen. In der nachstehenden Tabelle 1 sind die Ergebnisse für ein 10° Netz ersichtlich. Aufgrund der Konformität beträgt die maximale Winkelverzerrung ( $2 * \omega$ ) 0° auf jeder Höhe der Parallelkreise. Der y-Wert (der Rechtswert) erhält den gleichen Wert wie die geographische Länge. Bei einer konformen Abbildung sind die Hauptverzerrungen h und k, sowie die maximale und minimale Längenverzerrung a und b gleich groß. Betrachtet man die Länge der Halbachsen der Verzerrungsellipse (a, b), so erkennt man dessen Verdoppelung bei 60° nördlicher bzw. südlicher Breite und an den Polen geht dieser Wert gegen unendlich. Die Flächenverzerrung p beträgt das Vierfache am 60-igsten Breitenkreis, am 70-igsten Breitenkreis sogar das 8,5-fache und an den Polen geht auch dieser Wert gegen unendlich, weswegen die Kontinentaldarstellungen an den Polen riesig sind (siehe Grönland).

$\varphi$	$\lambda$	$h$	$k$	$a$	$b$	$p$	$2*\omega$	$y$	$x$
0°	0°	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0°	0	0,0000
10°	0°	1,0154	1,0154	1,0154	1,0154	1,0311	0°	0	0,1754
20°	0°	1,0642	1,0642	1,0642	1,0642	1,1325	0°	0	0,3564
30°	0°	1,1547	1,1547	1,1547	1,1547	1,3333	0°	0	0,5493
40°	0°	1,3054	1,3054	1,3054	1,3054	1,7041	0°	0	0,7629
50°	0°	1,5557	1,5557	1,5557	1,5557	2,4203	0°	0	1,0107
60°	0°	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000	4,0000	0°	0	1,3170
70°	0°	2,9238	2,9238	2,9238	2,9238	8,5486	0°	0	1,7354
80°	0°	5,7588	5,7588	5,7588	5,7588	33,1634	0°	0	2,4362
90°	0°	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	0°	0	$\infty$

Tab. 1: Abbildungscharakteristik der Mercator-Abbildung eines 10° Netzes

## 2.5 Einteilung der Kartennetzentwürfe

Durch die hohe Anzahl an verschiedensten klein-, mittel- und großmaßstäbigen Abbildungen der Erde, durch die Modifikation dieser und durch die Entstehung neuer Netzentwürfe gibt es unzählige Möglichkeiten die dreidimensionale Erde in die Ebene zu transformieren. Aufgrund dieser Tatsache findet man auch in der älteren Fachliteratur Klassifikationen von Kartenabbildungen. Bugayevskiy und Snyder gliedern die Kartennetzentwürfe in [BUG-95 S.41]:

- nach den Verzerrungscharakteristiken,
- nach der Form des normalen Kartennetzes der Breitenkreise und der Meridiane,
- nach der Lage der Abbildungsfläche der Karte,
- nach der Form der Differenzialgleichung die die Abbildung definiert,
- nach der Methode um zur Kartenabbildung zu gelangen,
- nach den Parametern des Kartennetzentwurfes (mathematische Beziehung zwischen den geographischen und ebenen Koordinaten),
- etc.

Die Einteilung sollte an das Thema anpassen werden, um Übersichtlichkeit und Verständlichkeit zu gewährleisten. In dieser Abreit eignen sich folgende Klassifikationen am besten:

- nach Art der Bilder der Breiten- und Längenkreise,
- nach Arte der Abbildungsfläche (geometrische Klassifikation)
- und falls notwendig nach der Stellung der Abbildungsfläche zur Erdachse.

Für diese Ausarbeitung reichen die ersten beiden Punkte bereits aus, um eine übersichtliche Klassifikation zu erreichen.

### 2.5.1 Einteilung nach der Art der Bilder der Breiten- und Längenkreise

Diese Art der Klassifikation stellt eine sehr überblicksmäßige Gliederung mit zwei Kategorien dar. Man unterscheidet zwischen echten und unechten Abbildungen. Echte Netzentwürfe sind Geographische Netze, dessen gerade Meridiane sich in einem Punkt oder im Grenzfall im Unendlichen schneiden, dessen Breitenkreise als konzentrische Kreise und im Grenzfall mit unendlichen Radien abgebildet werden und Klein- und Großkreise aufeinander orthogonal stehen. [HAK-02 S.55]

Unechte Abbildungen können nicht mehr vollständig mit der Abbildungsfläche in Verbindung gebracht werden. Eine weitere wichtige Eigenschaft erkennt man im Abbild des Gradnetzes. Breitenkreise und Meridiane schneiden einander nicht mehr im rechten Winkel. [HAK-02 S.55]

### *2.5.2 Einteilung nach der Art der Abbildungsfläche*

Diese Einteilung wird auch als die geometrische Klassifikation bezeichnet. Wie bereits in dem Kapitel 2.4.3 festgestellt wurde, kann man die Erde auf einen Zylinder, einen Kegel oder auch auf eine Ebene projizieren. Diese drei Abbildungsflächen ermöglichen eine weitere Kategorie der Klassifikation (mehr Informationen siehe Kapitel 2.5.4).

### *2.5.3 Einteilung nach der Stellung der Abbildungsfläche zur Erdachse*

Bei der Einteilung nach der Stellung der Abbildungsfläche zur Erdachse wird die Lage zwischen der Abbildungsfläche und der Erde unterschieden in normal, transversal und schiefachsig. In normaler (erdachsiger, polständiger) Lage fällt die Erdachse mit der Lotlinie der Abbildungsfläche zusammen. In transversaler (querachsige, äquatorständige) Lage bilden die Erdachse und Lotlinie einen rechten Winkel. Während in schiefachsiger Lage (zwischenständige Abbildung) beträgt der Winkel  $\alpha$  zwischen der Erdachse und der Lotlinie der Abbildungsfläche zwischen  $0^\circ < \alpha < 90^\circ$  beträgt. [HAK-02 S.55]

Die Veränderung der Lage der Abbildungsfläche beeinflusst nur das Aussehen des Kartennetzes und der Kontinente nicht jedoch das Verzerrungsmuster. Verschiedene Positionen der Abbildungsfläche erzeugen keine neuen Kartennetzentwürfe.

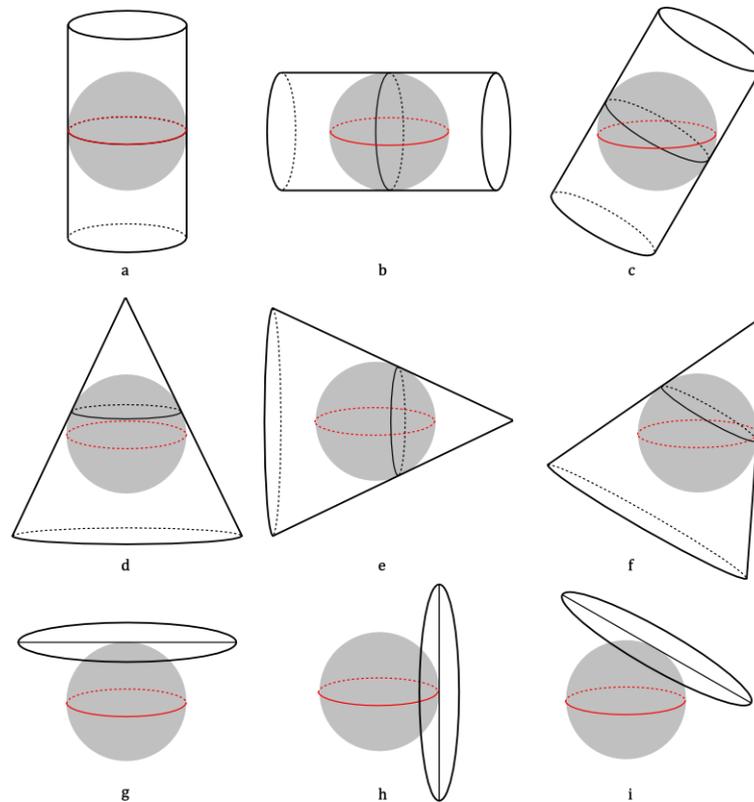


Abb. 15: Lage der Abbildungsflächen der Zylinderabbildung (a normal, b transversal, c schiefachsige), der Kegelabbildung (d normal, e transversal, f schiefachsige) und der Azimutalabbildung (g normal, h transversal, i schiefachsige), eigene Darstellung

#### 2.5.4 Echte Kartennetzentwürfe

Zu den echten Abbildungen zählen die drei bekanntesten und gängigsten Abbildungsverfahren:

- die zylindrische Abbildung
- die konische Abbildung
- die azimutale Abbildung

##### 2.5.4.1 Die Zylinderabbildung

Bei der Zylinderabbildung wird die Erde auf einen Zylinder projiziert. Dieser Zylinder kann eine normale (in äquatorialen Bereichen), transversale oder schiefachsige (eher selten) Lage zur Erdachse haben und die Erde berühren (Berührungslinie ohne Verzerrung) oder schneiden (zwei Standartparallelen). Meridiane werden als gleich abständige gerade parallele Linien dargestellt. Wie auch die Breitenkreise die Orthogonal zu den Meridianen

stehen. Es gibt konforme und äquivalente Kartennetzentwürfe, sowie entlang der Meridiane und/oder der Breitenkreise äquidistante Linien. [BUG-95 S.49]

Aufgrund der Form des Kartennetzes verwendet man ein rechtwinkeliges Koordinatensystem. Die allgemeine Form der Abbildungsgleichungen für  $x$  (Hochwert) und  $y$  (Rechtswert) und der Hauptverzerrungen  $h$  und  $k$  lauten [MAI-92 S.431]:

$$x = r * f(\varphi) \tag{57}$$

$$y = r * \lambda \tag{58}$$

$$h = \frac{1}{R} * \frac{dx}{d\varphi} \tag{59}$$

$$k = \frac{r}{R * \cos \varphi}, \tag{60}$$

wobei  $r$  der Radius des Zylinders und  $R$  der Radius der Erde sind.

Es folgen einige Beispiele zu äquidistanten, äquivalenten und zur konformen Zylinderabbildungen:

### **Die äquidistante Zylinderabbildung**

Ziel dieser Abbildung ist es, ein Kartennetz zu entwickeln, das über den gesamten Darstellungsbereich entlang der Längenkreise streckentreu ist. Dazu müssen alle Breitenkreise auf die gleiche Größe wie der Äquator gebracht werden, für den Verzerrungsfaktor der Meridiane muss  $h = 1$  gelten und die Breitenkreise müssen die Meridiane im rechten Winkel schneiden. Weiters werden die Pole nicht als Punkte sondern als Linien abgebildet. [ILI-00 S.70]

Ein konkretes Beispiel ist die quadratische Plattkarte mit folgenden Abbildungsgleichungen und den Hauptverzerrungen [MAI-92 S.431]:

$$x = R * \varphi \tag{61}$$

$$y = R * \lambda \tag{62}$$

$$h = 1 \tag{63}$$

$$k = \frac{1}{\cos \varphi} \tag{64}$$

$$\sin \omega = \tan^2 \frac{\varphi}{2} \tag{65}$$

### **Die äquivalente Zylinderabbildung**

Bei flächentreuen Abbildungen bleibt über die gesamte Karte die Fläche erhalten. Die Breiten- und Längenkreise werden als orthogonale Geraden dargestellt. Die Meridiane besitzen den gleichen Abstand zueinander. Der Abstand der Breitenkreise nimmt in Rich-

tung der Pole ab. Bei normaler Lage ist der Maßstab entweder entlang des Äquators oder entlang zweier Standartparallelen längentreu. [ILI-00 S.70-72]

Als Beispiel wird der flächentreue Entwurf von Lambert 1772 gezeigt [MAI-92 S.431]:

$$x = R * \sin \varphi \quad (66)$$

$$y = R * \lambda \quad (67)$$

$$h = \cos \varphi \quad (68)$$

$$k = \frac{1}{\cos \varphi} \quad (69)$$

$$\sin \omega = \frac{\sin^2 \varphi}{2 - \sin^2 \varphi} \quad (70)$$

### Die konforme Zylinderabbildung

Detailliertere Informationen zu konformen Abbildungen in normaler Lage wurden bereits im Kapitel 2.4.8 genauer erläutert.

Als Beispiel für eine winkeltreue zylindrische Abbildung in transversaler Lage wird die Universal Transversal Mercator-Abbildung (UTM) genauer. Dieses System bildet die Erde im Bereich von 84° nördl. und 80° südl. Breite in 60 Meridianstreifensysteme mit je sechs Längengraden Ausdehnung ab. Die Meridianstreifen beginnen bei 177° westlicher Länge, wobei Greenwich zwischen den Zonen 32 und 33 liegt. Die Süd-Nord Bezeichnung beginnt mit C und endet mit X, I und O wurden jedoch wegen Verwechslungsgefahr ausgeschlossen. Der Mittelmeridian der einzelnen Systeme weist keine Längentreue auf, sondern wird mit einem Verjüngungsfaktor von 0,9996 in die Ebene projiziert. Dadurch sind am Rand der Koordinatensysteme die Längenverzerrungen nicht sehr groß. Somit ergibt sich die Äquidistanz in 180 Kilometern Entfernung beiderseits des Mittelmeridians. Zu zählen beginnt man auf der Nordhalbkugel mit den x-Koordinaten am Äquator, auf der Südhalbkugel werden zu den Werten noch 10.000 Kilometer addiert, um negative Koordinaten zu verhindern. Bei den y-Koordinaten beginnt die Zählung am Mittelmeridian plus 500 Kilometern wiederum um negative Zahlen zu vermeiden. Diese Werte werden in E(east) und N(ord) angegeben. Diese Abbildung wird von den USA, der NATO und einigen europäischen Ländern verwendet. In Österreich erfolgte die Umstellung in den letzten Jahren. [HAK-02 S.77-78]

#### 2.5.4.2 Die Kegelabbildung

Die konische Darstellung besitzt eine einzige verzerrungsfreie Kurve, die als Berührungslinie zwischen der Erde und dem Kegel liegt. Diese Kurve ist in der Karte als kreisförmiger Bogen zu erkennen. Auch hier werden die Verzerrungsparameter senkrecht zur Berüh-

rungringlinie größer. Die Form des Gradnetzes ähnelt einem Fächer. In normaler Lage sind die Meridiane Linien mit gleichem Winkel zueinander und proportional zum Gradnetz der Erde. Der Schnittpunkt befindet sich oft außerhalb der Abbildungsfläche. Die Breitenkreise werden als konzentrische kreisförmige Bögen abgebildet. Die Groß- und Kleinkreise schneiden einander im rechten Winkel. Der Kreisbogen mit der Null-Verzerrung ist die Standardlinie. Der Pol muss nicht das Zentrum der Parallelen sein, oft ist er auch ein Kreisbogen. [CAN-02 S.20-21]

Diese Darstellung eignet sich für Gebiete der mittleren Breite und mit großer West-Ost-Ausdehnung. Sie wird fast nur als normale Abbildungsfläche mit geographischen Koordinaten verwendet. [HAK-02 S.65]

Die allgemeine Abbildungsgleichung der Kegelabbildung wird in Polarkoordinaten angegeben, wobei  $r$  der Radius,  $R$  der Erdradius,  $\delta$  die Poldistanz und  $\theta$  der Winkel ist. Diese und die Hauptverzerrungen lauten [MAI-92 S.435]:

$$r = f(\delta), \text{ Halbmessergesetz} \quad (71)$$

$$\theta = n * \lambda, \text{ n ist die Abbildungskonstante} \quad (72)$$

$$h = \frac{dr}{R * d\delta} \quad (73)$$

$$k = \frac{r * n}{R * \sin \delta} \quad (74)$$

$$\delta = 90 - \varphi \quad (75)$$

Im Folgenden werden einige Beispiele zu äquidistanten, äquivalenten und konformen konischen Netzentwürfen näher betrachtet:

### **Äquidistante Kegelabbildung**

Es gibt mehrere äquidistante konische Abbildungen:

- mit einem längentreuen Parallelkreis und dem Pol als Punkt
- mit einem längentreuen Parallelkreis (Ptolemäus) und dem Kegel als Berührungskegel
- mit zwei längentreuen Parallelkreise (De l'Isle) und dem Kegel als Schnittkegel

Bei dieser Darstellung werden ein oder zwei Breitenkreise und alle Längengrade äquidistant abgebildet. Die Parallelkreise werden als konzentrische Kreise visualisiert und besitzen überall den gleichen Abstand zueinander. Die Längengrade sind Kreisradien und stehen orthogonal auf die Breitenkreise. Verwendung finden diese Netzentwürfe für kleine Regionen und Regionen mit großer West-Ost Ausdehnung. [HAK-02 S.65]

Die Abbildungsgleichung vom Entwurf von Ptolemäus wurde schon rund 130 Jahre nach Christus entwickelt und lautet wie folgt [MAI-92 S.435]:

$$r = R * (\tan \delta_0 + \delta - \delta_0), \text{ wobei } \delta_0 \text{ der langentreue Breitenkreis ist} \quad (76)$$

$$\theta = \cos \delta_0 * \lambda \quad (77)$$

$$h = 1 \quad (78)$$

$$k = \frac{r * \cos \delta_0}{R * \sin \delta} \geq 1 \quad (79)$$

$$\sin \omega = \frac{k-1}{k+1} \quad (80)$$

### äquivalente Kegelabbildung

Die äquivalenten konischen Abbildungen können mit einem oder zwei längentreuen Breitenkreisen konstruiert werden. Die Längenkreise sind konzentrische Kreise mit unterschiedlichen Abständen und schneiden die Parallelkreise im rechten Winkel. Diese Abbildungsform wird für große West-Ost-Ausdehnungen verwendet und verzerrt die Formen nicht so stark wie die äquivalente Zylinderabbildung.

Ein sehr bekanntes Beispiel solch einer Darstellung ist der Entwurf von Albers mit zwei längentreuen Breitenkreisen  $\delta_1$  und  $\delta_2$  aus dem Jahr 1805 [HAK-02 S.67]:

$$r = \frac{2 * R}{n} * \sqrt{\sin^2 \frac{\delta_1}{2} * \sin^2 \frac{\delta_2}{2} + n * \sin^2 \frac{\delta}{2}} \quad (81)$$

$$\theta = n * \lambda \quad (82)$$

$$n = \frac{\cos \delta_1 * \cos \delta_2}{2} \quad (83)$$

### Konforme Kegelabbildung

Schon 1772 wurde die erste konforme konische Darstellung von Lambert entwickelt. Rund 90% der verwendeten Kartenabbildungen sind auf diese Abbildung und auf den UTM-Entwurf zurückzuführen. Wählt man den Äquator als Standardparallele, dann ergibt dies das gleiche Abbild, wie die Mercator-Abbildung mit parallelen Meridianen und einen Pol im Unendlichen. Vergibt man hingegen für die Standardparallele mit der Breite  $90^\circ$ , so entspricht dies der polaren stereographischen Abbildung. Lambert entwickelte Entwürfe für eine und für zwei Standardparallelen. Die zweitgenannte wird sehr oft bei Übersichtskarten im Maßstab 1 : 500.000 mit ellipsoidischen Daten verwendet. [ILI-00 S.88-90]

Die Abbildungsgleichungen und die Verzerrungen für die konforme konische Abbildung mit zwei längentreuen Parallelkreisen nach Lambert lauten [MAI-92 S.436]:

$$r = \frac{R * \sin \delta_1}{n} * \frac{\tan^n \frac{\delta}{2}}{\tan^n \frac{\delta_1}{2}} \quad (84)$$

$$\theta = n * \lambda \quad (85)$$

$$n = \frac{\ln \sin \delta_2 - \ln \sin \delta_1}{\ln \tan \frac{\delta_2}{2} - \ln \tan \frac{\delta_1}{2}} \quad (86)$$

$$h = k = \frac{n \cdot r}{R \cdot \sin \delta} \quad (87)$$

$$\sin \omega = \frac{k-1}{k+1} \quad (88)$$

#### 2.5.4.3 Die Azimutalabbildung

Bei einer azimutalen Abbildung wird eine Ebene in einem Berührungspunkt tangential mit der Erde in Verbindung gebracht. Da in diesem Kartennetzentwurf die Ebene in einem Punkt mit der Erde verbunden ist, nimmt der Verzerrungsfaktor zirkulär symmetrisch zu. Entspricht dieser Punkt einem Pol, dann spricht man von einer polaren Abbildung. Hier werden die Meridiane in die Ebene projiziert, welche die konforme Eigenschaft besitzen. Breitenkreise werden als konzentrische Kreise und Meridiane als gerade Linien abgebildet, welche durch das Zentrum der Kreise gehen. Dabei ist der Winkel zwischen den Meridianen immer gleich. Oft wird die Längenverzerrung im Zentrum kleiner als eins verjüngt, um einen bestimmten Kreis verzerrungsfrei darstellen zu können. [ILI-00 S.79]

Die Azimutalabbildung kommt in jeder Abbildungsfläche in beliebigen Breiten vor, meist mit geographischen Koordinaten. Das dargestellte Gebiet sollte in allen Richtungen die gleiche Ausdehnung besitzen. [HAK-02 S.70]

Die allgemeine Abbildungsgleichung und die Verzerrungen berechnet man wie folgt [MAI-92 S.433]:

$$r = f(\delta), \text{ Halbmessergesetz} \quad (89)$$

$$\theta = \lambda \quad (90)$$

$$h = \frac{dr}{R \cdot d\delta} \quad (91)$$

$$k = \frac{r}{R \cdot \sin \delta} \quad (92)$$

$$\delta = \frac{\pi}{2} - \varphi, \text{ Poldistanz} \quad (93)$$

#### Äquidistanter Azimutalabbildung

Eine ähnliche Abbildung wurde von den frühen Ägyptern für Sternkarten verwendet. In dieser Abbildung nimmt der Maßstab der Bogensegmente entlang der Vertikalen (oder Meridiane in der normalen Lage der Abbildungsfläche) bei konformen oder einer anderen einfachen Abbildung zu, bei der äquivalenten oder einer anderen einfachen Abbildung ab und bleibt gleich bei der äquidistanten Abbildung. [BUG-95 S.105-107]

Äquidistanz wird in dieser Abbildung erreicht, indem man den Längenverzerrung radial vom Zentrum der Abbildung gleich eins setzt. Dann sind Strecken vom Zentrum aus län-

gentreu. Alle Meridiane in der polaren Lage, der Mittelmeridian in zwischenständiger Lage und der Äquator in äquatorialer Lage werden als gerade Linien abgebildet. Die Breitenkreise sind in normaler Abbildungsfläche Kreise mit gleichem Abstand zueinander. Verwendung findet der äquidistante Netzentwurf zur Darstellung von Polregionen, für Atlas-karten von Kontinenten und für Erdkarten.

Die Formeln für die Abbildungsgleichungen und die Verzerrungen der abstandstreuen azimutalen Darstellung von Postel (1581) lauten [MAI-92 S.434]:

$$r = R * \delta \quad (94)$$

$$\theta = \lambda \quad (95)$$

$$h = 1 \quad (96)$$

$$k = \frac{R * \delta}{\sin \delta} \quad (97)$$

$$\sin \omega = \frac{\delta - \sin \delta}{\delta + \sin \delta} \quad (98)$$

### Äquivalente Azimutalabbildung

Diese Abbildung wurde von Lambert (1772) entwickelt und kommt in allen Lagen vor. Wie zuvor werden die Meridiane abhängig von der Lage der Abbildungsfläche zur Erdachse als Geraden abgebildet. Dieser Kartennetzentwurf wird in zahlreichen amerikanischen Atlanten für äquivalente Polare Regionen verwendet.

Die Abbildungsgleichungen und Verzerrungen sind:

$$r = 2 * R * \sin \frac{\delta}{2} \quad (99)$$

$$\theta = \lambda \quad (100)$$

$$h = \cos \frac{\delta}{2} \quad (101)$$

$$k = \frac{1}{\cos \frac{\delta}{2}} \quad (102)$$

$$\sin \omega = \frac{\sin^2 \frac{\delta}{2}}{2 - \sin^2 \frac{\delta}{2}} \quad (103)$$

### Konforme Azimutalabbildung

Eine Sonderform der konformen azimutalen Abbildung ist die schon seit dem Altertum bekannte Stereographische Projektion. In dieser einzig echten konformen Perspektive liegt der Südpol im Zentrum und es werden alle Kreise der Erdkugel wieder als Kreise abgebildet, aber nicht mit dem gleichen Mittelpunkt. Meridiane in normaler Lage und der Äquator in transversaler Lage werden als gerade Linien visualisiert. Die anderen Groß- und Klein-kreise sind Kreisbögen. [HAK-02 S.68]

Dieses Kartennetz wird vorwiegend für kleine Länder oder Inseln verwendet. Das polare Abbild dient als Ergänzung der UTM-Darstellung (die die Pole nicht abbilden kann, nur  $\pm 80^\circ$ ) und wird als Universal Polar Stereographic Projection (UPS) bezeichnet. [ILI-00 S.82]

Die Verzerrungen und die Abbildungswerte errechnen sich wie folgt aus den Formeln [MAI-92 S.434]:

$$r = 2 * R * \tan \frac{\delta}{2} \quad (104)$$

$$\theta = \lambda \quad (105)$$

$$h = k = \frac{1}{\cos^2 \frac{\delta}{2}} \quad (106)$$

### **Gnomonische Abbildung**

Die gnomonische Darstellung wird in der Navigation verwendet. Das besondere daran ist, dass das Projektionszentrum im Mittelpunkt der Kugel liegt. Aufgrund der starken Verzerrungen in den Randbereichen ist es nicht möglich die gesamte Hemisphäre abbilden. Doch der große Vorteil liegt darin, dass alle Großkreise und der Äquator als Geraden dargestellt werden. Das heißt, dass alle geradlinigen Distanzen der Darstellung in Wirklichkeit die kürzesten Distanzen auf der Erde wiedergeben. Die Orthodrome wird als eine gerade Linie visualisiert. Die Breitenkreise mit Ausnahme des Äquators und der Pole werden als Ellipsen, Parabeln oder als Hyperbeln dargestellt. [HAK-02 S.68-70]

Die gnomonische Abbildung wird folgendermaßen berechnet:

$$r = R * \tan \delta \quad (107)$$

$$\theta = \lambda \quad (108)$$

$$h = \frac{1}{\cos^2 \delta} \quad (109)$$

$$k = b = \frac{1}{\cos \delta} \quad (110)$$

$$\sin \omega = \tan^2 \frac{\delta}{2} \quad (111)$$

### **Orthographische Abbildung**

Die Orthographische Abbildung stellt einen Sonderfall dar, weil das Projektionszentrum sich im Unendlichen befindet. Das Kartennetz ist daher optisch ansprechend, aber nur beschränkt funktional. Die Breiten- und Längenkreise bilden entweder Kreise, Ellipsen oder Geraden. [HAK-02 S.70]

Die Abbildungsgleichungen und Verzerrungen lauten [HAK-02 S.70]:

$$r = R * \sin \varphi \quad (112)$$

$$\theta = \lambda \quad (113)$$

$$h = \cos \delta = b = p \quad (114)$$

$$k = a = 1 \quad (115)$$

$$\sin \omega = \tan^2 \frac{\delta}{2} \quad (116)$$

### Die allgemein perspektive Azimutalabbildung

Das Bezugssystem dieser Abbildung ist grundsätzlich eine Kugel. Es ist jedoch notwendig für mittelmaßstäbige Karten das Ellipsoid als Bezugsfläche zu verwenden. Statt einer Berührungsebene wird für die Projektion eine beliebige parallele Ebene herangezogen. Das Projektionszentrum befindet sich als beliebiger Punkt auf der zur Ebene senkrechten Geraden. Dies entspricht einer Senkrechtphotographie aus einem Luft- oder Raumfahrzeug. Steht die Abbildungsebene nicht mehr senkrecht zur Erdachse, so entspricht das Ergebnis einer Schrägaufnahme aus einem Luft- oder Raumfahrzeug. [HAK-02 S.70]

#### 2.5.5 Unechte Kartennetzentwürfe

Die unechten Abbildungen unterscheiden sich von den echten vorwiegend durch das Kartennetz. Die unechten Netzentwürfe verlieren die Charakteristik der Orthogonalität der Netzlinien, Breitenkreise und Meridiane schneiden sich also nicht mehr im rechten Winkel. Meistens ist ihre Verzerrungscharakteristik die Äquivalenz. Verwendung finden diese Kartennetzentwürfe hauptsächlich für sehr kleinmaßstäbige Karten mit großen Erdausschnitten. [FAU-10]

##### 2.5.5.1 Unechte Zylinderabbildungen

Der Äquator, die Breitenkreise und der Mittelmeridian werden oft als Geraden dargestellt, was charakteristisch für diesen Netzentwurf ist. Die Meridiane findet man als gekrümmte Linien wieder. Oft dienen die unechten zylindrischen Abbildungen als Grundlage für die Planisphären. [GDZ-10]

Bei einer der bekanntesten Darstellungen der gesamten Erde, die von Mollweide 1805 erstellt wurde, ist das Abbild eine Ellipse mit dem Achsenverhältnis 1 : 2. Durch die flächentreuen Parallelkreiszonen und durch gleichabständiges unterteilen, erhält man flächentreue Gradabteilungen.

Eckert entwickelte 1906 sechs weitere populäre Netzentwürfe. Die Grundsätze dieser Entwürfe sind folgende: die Pollinie soll so lang sein wie der Mittelmeridian, der Äquator

soll doppelt so lang sein wie die Pollinie und die Breitenkreise sollen parallel zum Äquator sein. Als weitere Eigenschaft kann man bei allen Entwürfen die Flächentreue in den Breitenkreiszonen nennen. Markante Unterschiede zwischen den sechs Entwürfen sind die Meridianbilder: im ersten und im zweiten sind diese geradlinig, im dritten und im vierten sind sie Ellipsen und im fünften und im sechsten Entwurf Sinuslinien. [HAK-02 S.82]

#### 2.5.5.2 *Unechte Kegelabbildungen*

Die unechte konische Darstellung wurde von Bonne im Jahre 1752 entworfen. Es handelt sich um eine mittabstandstreue und flächentreue Kegelabbildung bei dem die Längen- und Winkelverzerrungen mit wachsendem Abstand vom Mittelmeridian zunehmen. Die längentreuen Breitenkreise sind konzentrische Kreise und die Meridiane findet man in der Darstellung als gekrümmte Linien. [HAK-02 S.82]

#### 2.5.5.3 *Unechte Azimutalabbildungen*

Der Entwurf entsteht aus einer transversalen azimutalen Abbildung durch Dehnen und Umbeziffern der jeweiligen ebenen Darstellung. Umbeziffern ist eine Methode, die den Ausgangsentwurf so verändert, dass den Netzlinsen ein anderer Zahlenwert auf systematische Weise zugeordnet wird. Dadurch können bisherige Abbildungseigenschaften erhalten bleiben, aber ebenso neue angefügt werden. Hake [HAK-02 S.82] meint dazu: „Aus der Abbildung einer Halbkugel auf die Kreisfläche entsteht die Abbildung der ganzen Kugeloberfläche auf die Fläche einer Ellipse im Achsenverhältnis 1:2.“ Aitoffs Darstellung beinhaltet ein im Äquator längentreuen Breitenkreis und einen längentreuen Mittelmeridian. Hammers Abbildung ähnelt der von Aitoff, ist aber flächentreu. [HAK-02 S.82, 85]

#### 2.5.5.4 *Kombinierte Abbildungen*

Kombinierte Abbildungen (Mischkarten) entstehen durch das Mitteln von Netzen. Ein bekannter Entwurf ist der von Winkel aus dem Jahr 1913, der sich aus Aitoffs und der mittabstandstreuen Zylinderabbildung mit zwei längentreuen Breitenkreisen zusammensetzt. Kombinierte Abbildungen verknüpfen mehrere Kartennetzentwürfe miteinander. [HAK-02 S.83]

#### 2.5.5.5 *Pseudozylindrische Abbildungen*

Bei dieser Art der Abbildung werden Breitenkreise als gerade Linien abgebildet und Meridiane als symmetrische Kurven rund um den geraden Mittelmeridian. Die Form der Meridiane sind oft Ellipsen oder Sinuskurven aber können Parabeln, Hyperbeln oder andere Linien annehmen. Es gibt keine Orthogonalität zwischen den Meridianen und den Breitenkreisen bis auf den Nullmeridian und den Äquator. Diese Abbildung wird fast ausschließ-

lich für kleinmaßstäbige Weltkarten verwendet, deren Bezugssystem eine Kugel mit dem Radius  $R$  ist. Es ist möglich die gesamte Erde abzubilden, dabei liegen die westlichsten und östlichsten Regionen einander gegenüber und die Pole werden als Punkte oder als Linien parallel zum Äquator dargestellt. [BUG-95 S.65-66]

#### *2.5.5.6 Pseudokonische Abbildungen*

Pseudokonische Abbildungen repräsentieren die Parallelkreise als kreisförmige konzentrische Bögen. Die Längengrade sind individuell angepasst, sodass sie keine gleichmäßigen Kurven mehr sind. [CAN-02 S.23]

#### *2.5.5.7 Polykonische Abbildungen*

Diese besitzen keine konzentrischen kreisförmigen Bögen. Das Zentrum der Breitenkreise befindet sich an seinem Punkt entlang des geraden Mittelmeridians. Bei dieser unechten Abbildung werden mehrere Kegelflächen als Abbild verwendet. Der Vorteil liegt in der größeren Nord-Süd-Ausdehnung beiderseits des Mittelmeridians. Die polykonische Abbildung kann flächentreu, mit längentreuen Breitenkreisen oder konform erstellt werden. [HAK-02 S.80]

#### *2.5.5.8 Polyederabbildung*

Die Polyederabbildung wird durch die Eckpunkte einer Karte auf der Kugel, durch die Verbindung der begrenzten Netzlinien, erstellt. Dieses Trapez, bestehend aus Kugelsehenen, dient als Abbildungsfläche. Hake [HAK-02 S.80] meint: „*in Folge solcher Abbildungseinheiten ergibt sich bei einem Kartenwerk die Annäherung der Kugel durch ein inneres Polyeder.*“



### **3 Das Interface (-design) als wichtige Hauptkomponente einer kartographischen Ausdrucksform**

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den Grundlagen der Benutzerschnittstelle und zeigt wie wichtig das Interface und sein Design für die Nutzung der entsprechenden Nutzergruppe sind. Die Kommunikation zwischen der Applikation und dem Anwender erfolgt nämlich über diesen Hauptbestandteil. In modernen GIS-Anwendungen findet eine genaue Überlegung und Anpassung des Interfaces statt, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Wichtig ist, dass der Nutzer nicht überfordert aber auch nicht unterfordert ist, das Erlernte ausüben kann und vor allem zufrieden ist. Mittels Interaktivität kann der User sein Wissen erweitern. Es wird in diesem Kapitel auch die GIS-Applikation als Lernmedium genauer dargestellt. Wo liegen die Vorteile und wo die Nachteile dieses Systems?

#### **3.1 Grundlegende Bestandteile eines Interfaces**

Zu Beginn des Kapitels „Interfacedesign“ müssen anfangs noch wichtige Begriffe und Komponenten zum besseren Verständnis erklärt werden. Dabei handelt es sich vorwiegend um englische Fachbegriffe, die im Zuge der Computerentwicklung entstanden sind.

##### *3.1.1 Das Interface als Verbindung der Mensch-Computer Interaktion*

JoAnn T. Hackos und Janice C. Redish [HAC-98 S.5] definieren ein Interface folgendermaßen: *„An Interface is the bridge between the world of the product or system and the world of the users. It is the means by which the users interact with the product to achieve their goals. It is the means by which the system reveals itself to the users and behaves in relation to the users' needs.“*

Das Wort „Interface“ kommt aus dem englischen Sprachraum und bedeutet auf Deutsch Schnittstelle, Verbindungsstelle, Benutzeroberfläche oder Bedienoberfläche. Allgemein ist ein Interface ein Ort an dem zwischen zwei Einheiten Kontakt hergestellt wird. Je komplexer die Einheiten sind, desto besser sollte das Interfacedesign ausfallen, um eine unkompliziertere Bedienung zu gewährleisten.

##### *3.1.1.1 User Interface (UI)*

Der Begriff Mensch-Computer Interaktion (**H**uman **C**omputer **I**nteraction, HCI) entstand in den 1980er Jahren und ist ein Zusammenspiel von Design, Evaluation und Implementierung eines User Interfaces (Benutzerschnittstelle). Die Benutzerschnittstelle ist das wichti-

ge Bindeglied, damit der Nutzer im Stande ist dem Computer Befehle erteilen zu können und der Computer auch auf diese Anfragen reagieren kann. [WOR-04 S.293]

### 3.1.1.2 Graphical User Interface (GUI)

Seit den 1980er Jahren wird das User Interface durch das Graphical User Interface (graphische Benutzeroberfläche) geprägt. Diese Schnittstelle vereinfachte für den kommerziellen unterschiedlichen Nutzer die Interaktion mit dem Computer von der reinen textorientierten zur graphikorientierten Informationsabfrage [WES-98 S.17-18]. Vorreiter des GUI waren 1982 XEROX und 1984 Apple, die zu einer entscheidenden Entwicklung der kommerziellen Computernutzung beitrugen [SCH-98 S.23].

### 3.1.1.3 Mensch-Computer Interaktion

In der digitalen Kartographie dient eine Schnittstelle der Kommunikation zwischen dem Menschen und dem Computer. Diese HCI hat die Funktion, Informationen vom Nutzer dem Computer verständlich zu übermitteln und nach dessen Prozesstätigkeit die Ergebnisse wiederum dem Nutzer zurückzuführen. Um die Handhabung zu vereinfachen sollte der Designer kognitive und psychologische Grundlagen der menschlichen Wahrnehmung miteinbeziehen. [SCH-98 S.11-13]

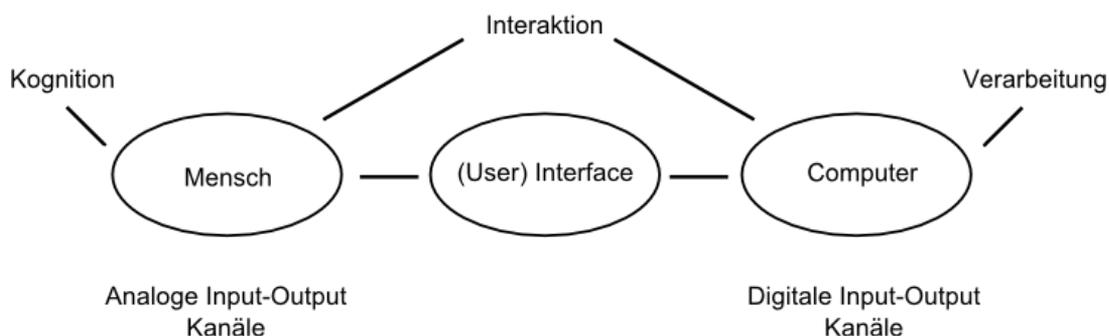


Abb. 16: Mensch-Computer Interaktion, eigene Darstellung nach [WOR-04 S.294]

Die Abbildung 16 ist eine schematische Graphik der Vorgänge einer HCI. Es stehen sich die analogen (beim Menschen) und die digitalen (beim Computer) Input-Output Kanäle im Informationstransfer gegenüber. Beginnt der Interaktionsvorgang beispielsweise beim Menschen, so werden über einen analogen Output Kanal, wie etwa dem menschlichen Tastsinn (Tastatur und/oder Maus), die Informationen in ein digitales binäres Signal umgewandelt. Der digitale Input Kanal des Computers erhält die Informationen und startet mit der Verarbeitung. Die Computereinheit sendet das Ergebnis z. B. über einen Bildschirm als visuelle Aneinanderreihung von Pixeln unterschiedlicher Farbewerte oder als

auditives Signal über Lautsprecher. Die analogen Input Kanäle des Menschen nehmen diese Informationen auf und ein kognitiver Prozess startet im menschlichen Gehirn. [WOR-04 S.293-296]

Zu den zahlreichen Peripheriegeräten, welche die Interaktion zwischen Computer und Menschen ermöglichen, zählen z. B.: Tastatur, Maus, Lautsprecher, Monitore, Displays, Mikrophone, Joysticks usw.

### **Die menschliche Kognition und die Informationsverarbeitung eines Computers unterscheiden einander wie folgt:**

Ein Rechner ist in der Lage zahlreiche Daten zu speichern oder Berechnungen in hundertsstel Sekunden auszuführen, das könnte ein menschliches Gehirn nicht einmal in Jahrzehnten schaffen. Andererseits ist der menschliche Denkprozess im Gehirn fähig einfache Probleme zu lösen, die ein Computer nie verarbeiten könnte. Die noch unantastbaren Stärken des menschlichen Wesens sind seine Fähigkeiten logisch zu denken und Probleme zu lösen. [WOR-04 S.296]

### **Das logische Denken**

Beim logischen Denken unterscheidet man zwischen der deduktiven, der induktiven und der abduktiven Inferenz (Schlussfolgerung).

Die deduktive Schlussfolgerung ist ein Denkprozess, bei dem man von einer allgemeinen Regel auf ein spezifisches Beispiel schließt. Z. B.: Österreicher lieben Wienerschnitzel. Franz und Thomas sind Österreicher. Also lieben Franz und Thomas Wienerschnitzel.

#### **Regel + Argument => Resultat**

Die induktive Inferenz schließt von einem beobachteten spezifischen Beispiel zu einer allgemeinen Regel. Z. B.: Franz und Thomas essen gerne Wienerschnitzel. Sie sind beide Österreicher. Also essen alle Österreicher gerne Wienerschnitzel.

#### **Argument + Resultat => Regel**

Die dritte Schlussfolgerung, die abduktive, schließt von einer allgemeinen Regel und einem Resultat auf das einzelne Beispiel. Z. B.: Alle Österreicher essen gerne Wienerschnitzel. Franz und Thomas essen gerne Schnitzel. Sie sind beide Österreicher.

#### **Regel + Resultat => Argument**

Durch diese drei verschiedenen Arten von Inferenzen ist der Mensch beim logischen Denken in der Lage Schlussfolgerungen zu erreichen und Hypothesen zu generieren. Der Mensch ist kein abgeschlossenes System, sondern bezieht die neu erhaltenen Informationen im Denkprozess mit ein. Der Computer besitzt diese eigenständigen Fähigkeiten, um

neue Schlussfolgerungen und Hypothesen zu bilden, im Gegensatz dazu nicht. Zwar gibt es bereits intelligente Systeme, doch diese kommen noch nicht an die Leistungsfähigkeit des menschlichen Gehirns heran. Jedoch nimmt die Intelligenz der Computer rapide zu und es ist möglich, dass es in naher/ferner Zukunft dem Menschen ähnliche intelligente Systeme gibt. [WOR-04 S.296-297]

### **Problemlösung**

Im Vergleich zum logischen Denken beschäftigt sich die Problemlösung mit unbekanntem Problemen. Der Mensch verwendet unterschiedliche Methoden um Probleme zu lösen, wie die Heuristik, die Analogie, Metaphern und das Erlernen:

- Die Heuristik stellt Handlungsmethoden zur Verfügung, wenn die Situation aufgrund von fehlerhaften Informationen schwer einschätzbar ist und darüber hinaus die Lageeinschätzung aus Zeit- oder Motivationsmangel unvollständig ist.
- Die Analogie ist eine menschliche Problemlösungsstrategie, welche Lösungen anderer Bereiche adaptiert und in der jeweiligen Problemsituation analog anwendet.
- Eine weitere Technik zur Problemlösung ist das Lernen. Lernen verleiht dem Menschen die Fähigkeit durch Improvisation unbekannte Probleme zu initialisieren.

Einige Systeme versuchen logisch zu denken, vor allem durch Erlernen oder durch Nachahmung. Doch heutzutage ist die technische Entwicklung noch nicht soweit, um z. B. die Steuerung eines Autos nur durch einen Computer zu kontrollieren. In Zukunft wird die Intelligenz der Rechner immer komplexer werden und dadurch werden auch immer neue Einsatzmöglichkeiten entstehen. [WOR-04 S.297]

#### *3.1.2 Interface-Metapher*

Die Definition lautet nach dem Literaturlexikon Rossipotti wie folgt [KRI-10]:

*„Der Begriff Metapher stammt von dem griechischen Wort metaphorá ab, das bedeutet Übertragung. Eine Metapher überträgt dabei die Bedeutung des einen Wortes auf die eines anderen. Aus Kamel wird so zum Beispiel „Wüstenschiff“. Mit Hilfe der Metapher kann man einen Ausdruck bildlicher, lebendiger und verständlicher gestalten. Wenn man etwas nicht wörtlich, sondern im übertragenen, bildlichen Sinne meint, meint man es also „metaphorisch“. Die Metapher ist ein sprachliches Bild, wissenschaftlich sagt man auch rhetorische Figur.“*

Die Metapher als Begriff der Computerbranche etablierte sich mit dem ersten Auftreten der GUI in den 1980-er Jahren. Bei der Erstellung eines User Interfaces muss der Entwickler genügend Erfahrung mit Schnittstellen aus dem alltäglichen Leben haben. Durch den

ständigen Gebrauch dieser Benutzeroberflächen besitzen Menschen ein gewisses Vorwissen. Mithilfe von Metaphern kann man bestehendes Wissen, das schon in anderen Bereichen gewonnen wurde, übernehmen. [HUR-10]

In der Fachliteratur wird das Beispiel Abfallbehälter genannt. Am Windows Desktop befindet sich meist ein Papierkorb, in dem man unbrauchbare Dateien ablegen kann. Die Files werden noch nicht gelöscht, sondern nur vom alten Verzeichnis in ein neues übertragen. Erst bei der Entleerung des Mülleimers werden die Dateien fast gänzlich von dem Speichermedium entfernt. Wie in der Realität, wenn ein Blatt Papier in den Mistkübel geworfen wird, dann ist es auch noch solange vorhanden, bis der Mistkübel schlussendlich entleert wird. Bei der richtigen Anwendung der User Interface Metaphern wird der Umgang mit Benutzerschnittstellen entscheidend erleichtert.

### 3.1.3 Interaktionsstile

Benutzerschnittstellen können entweder eher einen intuitiveren oder einen expressiven Charakter haben. Kennzeichen des Intuitiven ist die leichte Erlernbarkeit, der Lernprozess muss nicht mehr durchlebt werden, um etwas verwenden zu können. Ein gutes Beispiel für ein intuitives User Interface ist das Auto. Der Pkw wird gesteuert mittels Pedalen, der Gangschaltung und dem Lenkrad. Das Armaturenbrett dient zur Informationsgewinnung bezüglich des Bewegungsvorganges und somit zur Kontrolle. Der ganze Prozess des Autofahrens ist auf verschiedene Fahrzeuge übertragbar. Ermöglicht wird das durch den ähnlichen, fast gleichen Aufbau jedes Kraftwagens. Somit kann man das einmal Erlernte an anderen Pkws leicht anwenden. [WOR-04 S.298]

Ein expressives Interface ermöglicht dem Benutzer spezielle Aufgaben zu lösen. Es erlaubt präzisere und spezifischere Kommandos und beinhaltet mehr Optionen zur Modifikation des Computers. In der Regel verwendet man Schnittstellen die beides sind, sowohl intuitiv als auch expressiv. [WOR-04 S.298]

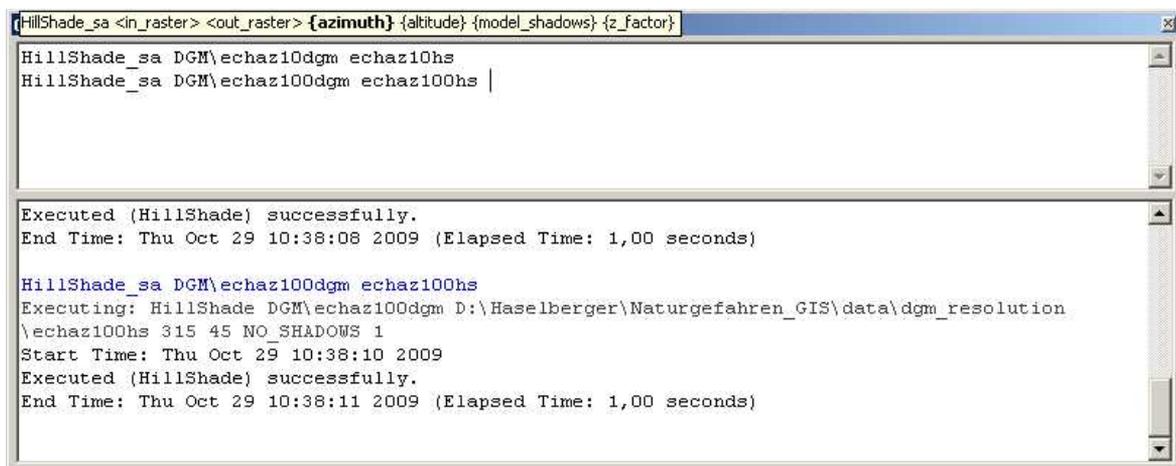
	<b>Interfacestil</b>	<b>Beispiele</b>
	<b>mehr expressiv</b>	Befehlsorientiert
		weit verbreitet in GIS-Softwareprodukten
		Menüauswahl
		Microsoft Office Menü, ArcGis Menü, ...
	Eingabefelder	Abfragen einer Straßennamen, einer Flugverbindung, ...
	WIMP	findet man im Word, Excel, Power Point, ...
<b>mehr intuitiv</b>	Natürliche Sprache	

Tab. 2: Interaktionsstile, eigene Darstellung nach [WOR-04 S.298]

Ben Shneiderman definierte in seinem Buch [SHN-98 S.71-74] fünf Interaktionsstile: Kommandosprache, Menüauswahl, Eingabefelder, direkte Manipulation und die natürliche Sprache.

### 3.1.3.1 Kommandosprache (befehlsorientiert)

Bei diesem Interaktionsstil kommuniziert der Nutzer direkt mit dem Computer über direktes Eintippen von Befehlen über die Tastatur in eine Kommandozeile, die die Maschine ausführen kann. Dies erfordert hohe Ansprüche an den Benutzer, der die einzelnen Befehle exakt lernen soll, sowie durch ständiges Training die Kommandos in Erinnerung halten soll, um die Fehlerquote so gering wie möglich zu halten. Dafür ist diese Vorgangsweise ein sehr flexibles und mächtiges Instrument der Ausführung von komplexen Aktionen. Diese Benutzeroberfläche ist weitgehend expressiv und nicht intuitiv. Einsetzen kann man die Kommandosprache in vielen Bereichen, wie etwa bei GIS-Softwareprodukten, um komplexe Abfrage- und Analyseprobleme lösen zu können. [SHN-98 S.73]



```
HillShade_sa <in_raster> <out_raster> {azimuth} {altitude} {model_shadows} {z_factor}
HillShade_sa DGM\echazi0dgm echazi0hs
HillShade_sa DGM\echazi100dgm echazi100hs |

Executed (HillShade) successfully.
End Time: Thu Oct 29 10:38:08 2009 (Elapsed Time: 1,00 seconds)

HillShade_sa DGM\echazi100dgm echazi100hs
Executing: HillShade DGM\echazi100dgm D:\Haselberger\Naturgefahren_GIS\data\dgm_resolution
\echazi100hs 315 45 NO SHADOWS 1
Start Time: Thu Oct 29 10:38:10 2009
Executed (HillShade) successfully.
End Time: Thu Oct 29 10:38:11 2009 (Elapsed Time: 1,00 seconds)
```

Abb. 17: Command Line im ArcMap

### 3.1.3.2 Menüauswahl

Die Menüauswahl nutzt auch Kommandobefehle, welche in logischen Gruppen organisiert sind. Der Benutzer hat dadurch einen besseren Überblick über die Befehle und kann sich leichter an diese erinnern, wenn sie vorgegeben werden. Das Menüinterface ist weniger expressiv als die Kommandosprache, da das Menü gewissen Befehlen folgt. [WOR-04 S.299]

Das Menü ist gegliedert in Hauptmenüs und Untermenüs. Der Nachteil dieser Schnittstelle ist, je tiefer und weiter verzweigt die Optionen eines Menüs werden, desto schwieriger wird es für den Nutzer sich zu Recht zu finden. Für vertraute Menübenutzer gibt es oft

eine Reduzierung der Arbeitsgeschwindigkeit in einem komplexen Menübaum mit verborgenen Funktionen. Im Internet findet man meist Lösungen für dieses Problem und zwar so genannte „site maps“, welche die Menüoptionen in hierarchischer Überblicksdarstellung anbieten. [RIE-00 S.86]

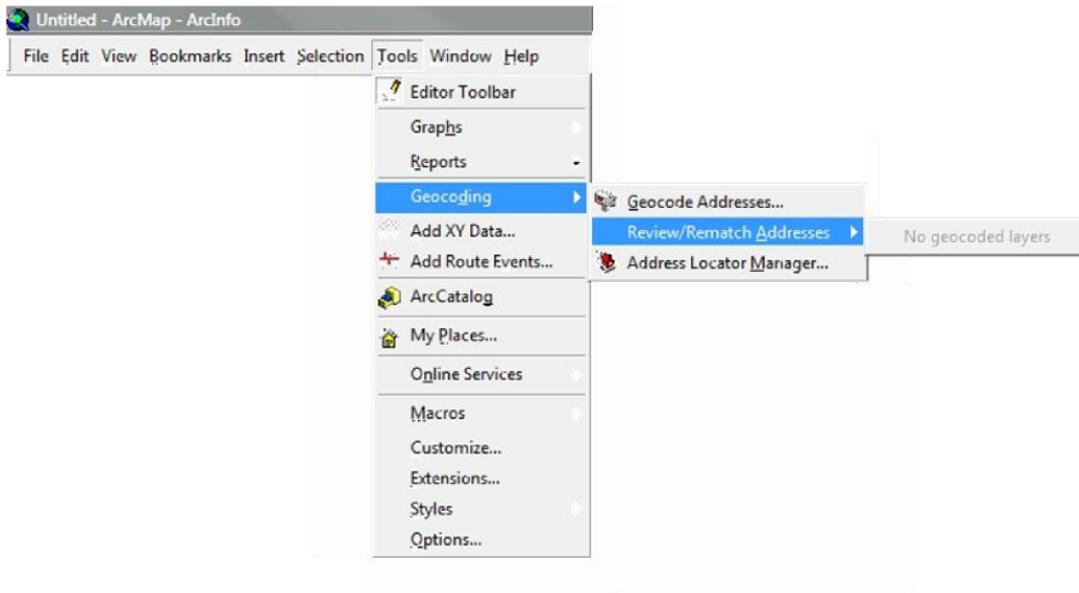


Abb. 18: MenüInterface mit verzweigten Untermenüs im ArcGIS-ArcMap

### 3.1.3.3 Eingabefelder

Bei dieser Art der Benutzerschnittstelle muss der Anwender verschiedene spezifische Daten eingeben, welche das Programm braucht, um daraus die gewünschte Aktion berechnen zu können. Diese Eingabefelder dienen der Einstellung von gewissen Parametern oder Aufgaben. Dabei können nicht irgendwelche Daten verwendet werden, sondern welche, die mit dem Wertebereich und Wertetyp des Eingabefeldes übereinstimmen, um die Zahl der Fehlermeldungen zu reduzieren. Dieses Forminterface findet man zum Beispiel bei ArcGIS, bei den Einstellungen eines Kartennetzentwurfes für einen bestimmten Layer. Hierbei kann man der Abbildung einen eigenen Namen geben, die gewünschte Projektion einstellen, die einzelnen Parameter bestimmen und die Lage des Abbildungszentrums verändern. [WOR-04 S.299]

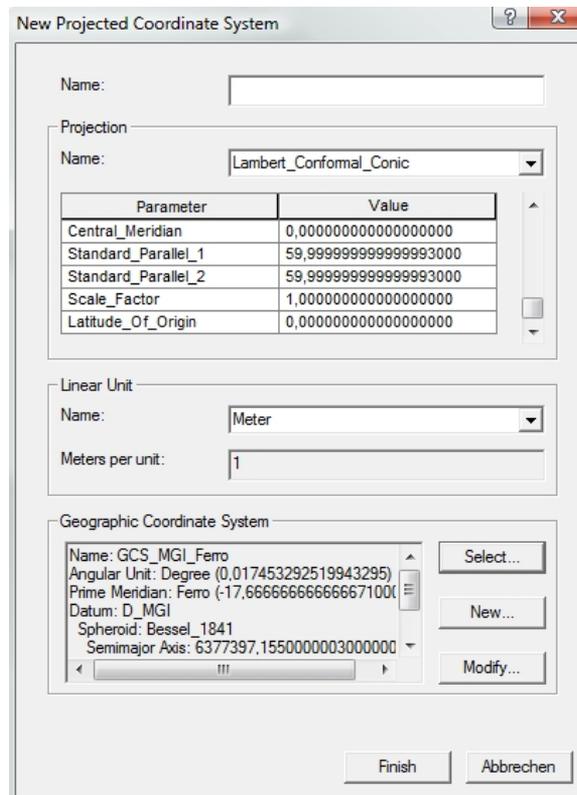


Abb. 19: Eingabefeld für Parameterbestimmung des Kartennetzes im ArcMap

### 3.1.3.4 Direkte Manipulation

Diese intuitive Benutzerschnittstelle versucht Gegenstände der realen Welt als Interfaceelemente darzustellen. Somit kann sich der Benutzer die Interface-Metapher zu Nutze machen. Die visuelle Repräsentation der Objekte und Aktionen verhelfen dem User zur schnellen Bewältigung der Aufgaben. Man kann die gewünschten Befehle einfach mit der Maus, der Tastatur oder auch mit dem Joystick eingeben. Aufgrund des intuitiven Aufbaus und der eher begrenzten Möglichkeiten des Anwenders werden Fehler minimiert, was zu einer höheren subjektiven Zufriedenheit des Users führt. Die Nachteile dieser Schnittstelle liegen in der komplexen Programmierung und der Voraussetzungen graphischer Displays und punktgenauer Schnittstellen. [SHN-98 S.71-73]

### 3.1.3.5 Die natürliche Sprache

Die am intuitivste und konventionellste Benutzerschnittstelle ist die gesprochene und geschriebene Sprache. Dieses Interface ist am besten geeignet für eine Mensch-Computer Interaktion. Jedoch gibt es hierbei viele Mehrdeutigkeiten, die der Computer nicht (oder noch nicht) identifizieren kann. Die Eingabe erfolgt mittels Tastatur oder bestenfalls über ein Mikrofon. [WOR-04 S.299]

Eine Innovation in der Kartographie wäre ein intelligentes kartographisches Produkt, das einen Ort, aufgrund der natürlichen Sprache (zum Beispiel Informationsaufnahme durch ein Mikrofon), lokalisiert und durch einen entsprechenden Ausschnitt der Erdoberfläche mit entsprechendem Kartennetzentwurf und Maßstab visualisiert.

### 3.1.3.6 WIMP-Interface

Eine der gängigsten graphischen Benutzeroberflächen, die jeder Nutzer eines Computers kennt, ist das WIMP-Interface. WIMP (**W**indows, **I**cons, **M**enus, **P**ointers) steht für Fenster, Symbole (Piktogramme), Menüs und Mauszeiger. Fenster werden verwendet als unabhängige Behälter für Prozesse und Applikationen, wie zum Beispiel mehrere geöffnete Word-Fenster nebeneinander. Symbole sind kleine Bilder, die durch anklicken mit der Maus einen bestimmten Befehl ausführen. Dabei wird das Bild so gewählt, dass es eine Metapher für dieses Kommando darstellt. Menüs (siehe 3.1.3.2) werden für die Strukturierung der Befehle verwendet. Und der Mauszeiger ist für die Aktivierung der Kommandos und auch für die direkte Manipulation durch den Klick mit den Maustasten verantwortlich. [WOR-04 S.300]

Das WIMP-Interface ist eine Mischung aus einigen der fünf Interaktionsstile von Ben Shneiderman. Der Vorteil der Benutzerschnittstelle liegt darin, dass diese einerseits sehr intuitiv und andererseits auch sehr expressiv sein kann.

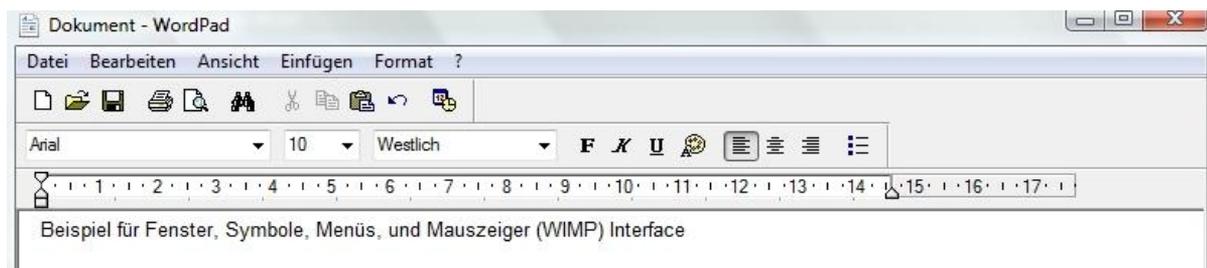


Abb. 20: Beispiel eines WIMP-Interface anhand von WordPad

## 3.2 Interfacedesign

Das Design beinhaltet den prozesshaften Ablauf und das Produzieren, das resultierende Ergebnis und das Interfacedesign als Prozess und als wahrnehmbares Ergebnis. Die Mensch-Computer Schnittstelle ist gekennzeichnet durch ein in Beziehung setzen von Elementen. Somit kann man das Interfacedesign als die Aufgabe verstehen, die Komplexität der Beziehungen zwischen dem Computer und dem Menschen gestalterisch so einfach wie möglich umzusetzen. [SCH-98 S.14-15]

Mit entsprechendem Interface (GUI-) Design kann man komplexe Applikationen einfacher gestalten und die Handhabung somit auch für Nutzer ohne Programmierkenntnisse erleichtern. Die Vorteile eines guten Designs sind [WES-98 S.21-22]:

- höhere Effizienz
- höhere Produktivität
- weniger Benutzerfehler
- höhere Benutzerzufriedenheit
- leichtere Erlernbarkeit
- Übertragbarkeit von Wissen auf andere Applikationen
- weniger Kosten
- weniger Gestaltungszeit

Der nutzerorientierte Ansatz versucht „Funktionalität“ und „Benutzbarkeit“ der Schnittstellen in den Mittelpunkt des Designprozesses zu stellen. Die Komplexität soll so weit wie möglich reduziert werden, um die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen. Dies geschieht, wenn das Vorwissen des Nutzers genutzt wird, wiedererkennbare oder für andere Applikationen im gleichen Zusammenhang verwendete Darstellungen einsetzt, die menschliche Informationsverarbeitung ausnützt und Informationen partitioniert. Die Benutzbarkeit der Software hängt von den Parametern „subjektive Einschätzung“ und „Performanz der Software“ ab. Eine Applikation ist nutzerfreundlich, wenn der Nutzer mit seinen kognitiven Eigenschaften mit dem System kompatibel ist und dieses bei der Benutzung ideal unterstützt. [SCH-98 S.27-32]

### *3.2.1 Die Brauchbarkeitskriterien*

Ben Shneidermanns Definition der Brauchbarkeitskriterien einer Schnittstelle in [SHN-98 S.135] wird durch Andreas Riedl in seiner Dissertation [RIE-00 S.89-90] für die kartographischen Ausdrucksformen wie folgt interpretiert:

#### **Leichtigkeit des Erlernens**

Beim Interfacedesign sollte man darauf achten, dass der Nutzer seine erworbenen kartographischen Fähigkeiten zum Einsatz bringen kann. Diese stammen von anderen kartographischen Produkten (z. B. Google Maps) oder von anderen Programmen. Zum Beispiel kann der Nutzer die Art der Steuerung von Google Maps problemlos auch bei dieser Applikation anwenden.

### **Effiziente Benutzung**

Das Interface sollte keine unnötigen zeitraubenden Schritte beinhalten. Die Anzahl der Elemente in der Applikation sollte gering gehalten werden.

### **Geringe Fehlerrate**

Der Benutzer sollte keine Möglichkeit haben, Bedienfehler zu machen. Ein erfolgreiches System muss eine geringe Fehlerrate haben.

### **Nachhaltigkeit**

Intuitive Interfaces, vor allem graphische Benutzeroberflächen, helfen dem Benutzer die erworbenen Fähigkeiten lange im Gedächtnis zu speichern. Befehlsorientierte Programme fördern das Vergessen der einzelnen Befehle.

### **Subjektive Zufriedenheit des Anwenders**

Die Zufriedenheit des Anwenders ist das wichtigste Brauchbarkeitskriterium. Dieser Punkt entscheidet über die Akzeptanz und somit auch über den Erfolg des kartographischen Produkts.

#### *3.2.2 Designprinzipien des nutzerorientierten Ansatzes*

Die wichtigsten Designprinzipien des nutzerzentrierten Ansatzes von Angelika Schulz in [SCH-98 S.43-48] werden hier zusammengefasst:

#### **Ein gutes konzeptuelles Modell**

Ein gutes Modell hilft auch mit völlig neuen Geräten umzugehen. Die Objekte sollen selbsterklärend entworfen werden.

#### **Dinge sichtbar machen**

Die Sichtbarkeit der Dinge erinnert den Anwender, welche Handlungen wie Auzuführend sind und welche Auswirkungen diese haben.

#### **Prinzip des Mappings**

Im Interfacedesign bedeutet der Begriff „Mapping“ die Koppelung zwischen Handlung und Ergebnis, also die Beziehung zwischen zwei Dingen. Als Beispiel wird gerne die Mausbewegung real (mit der Hand) und virtuell (Cursor am Bildschirm) genannt.

## **Feedbacks nutzen**

Die Rückmeldungen nach der Eingabe eines Befehls sind besonders wichtig für den Nutzer. Diese Feedbacks (siehe Kapitel 3.3.3) können visuell, auditiv oder taktil zurückkommen und zeigen dem Anwender welche Handlung tatsächlich ausgeführt wurde.

## **Gebrauchseigenschaften und Einschränkungen**

Gebrauchseigenschaften aus dem realen Leben können auch beim Interfacedesign genutzt werden, um dem Anwender wichtige Hinweise zu übermitteln. Zum Beispiel symbolisieren Zahnräder etwas zum Drehen, Glas ist transparent, Holz ist ein festes Material, ... Man sollte sich dabei aber eher auf die einfachen Alltagsgegenstände konzentrieren, um unnötigen Erklärungsbedarf zu vermeiden. Es gibt vier Einschränkungen der Komplexität nach Norman [NOR-98 S.103]: physische Einschränkungen, semantische Einschränkungen, kulturelle Einschränkungen und logische Einschränkungen.

## **Transparenz**

Transparenz beschreibt inwiefern: die Funktion des Objektes beim Anklicken auch sichtbar wird, zum Beispiel ein Wasserhahn hat einen Hebel, der sich horizontal (kalt-warm) und vertikal (bestimmt die Wassermenge) verstellen lässt. [SCH-98 S.72]

## **3.3 Das kartographische Interface**

Die Benutzeroberflächen werden genau den jeweiligen Anwendungen entsprechend spezialisiert und angepasst. Die Kartographie ist wichtig für die Kommunikation zwischen einem geographischen Informationssystem (GIS) und dem Nutzer. Auch die kartographischen Designprinzipien sind hoch relevant für die Mensch-Computer Interaktion. Zwischen einem GIS und einer Karte gibt es aber einen entscheidenden Unterschied: in einer Karte werden raumbezogene und graphische Objektrepräsentationen gleichzeitig dargestellt, während in einem GIS beide Elemente separat abgebildet werden können.

### *3.3.1 Die Karte als analoges Interface*

Karten werden schon seit langer Zeit als Benutzerschnittstelle, als kartographisches Interface, verwendet. Sie bildeten schon immer die Schnittstelle, zwischen der realen Welt und deren Objekten und dem Menschen. Doch Interaktionen sind auf einer analogen Karte nicht möglich. Durch die digitale Revolution bekommt die Karte als digitales Instrument nun aber eine neue Bedeutung. [WOR-04 S.301-302]

Eine Karte muss drei wichtige Mechanismen besitzen [WOR-04 S.302]:

- Aufgrund der Informationsdichte kann die Karte nur eine vereinfachte, modellhafte, reale Welt darstellen.
- Die kartographische Darstellungsform klassifiziert, das heißt ähnliche Sachverhalte werden zu Gruppen zusammengefasst.
- Karten verwenden Symbole (graphische Variablen) um geographische Erscheinungen abzubilden: Größe, Richtung (Orientierung), Form, Farbe, Füllung, Tonwert [HAK-02 S.108].

Diese drei Mechanismen werden bei der Erstellung einer Karte verwendet, was als **kartographische Generalisierung** bezeichnet wird. Der Grad der Generalisierung hängt vom Maßstab, von der Art der Karte und deren Thema ab.

GIS Schnittstellen verwenden die Kartenmetapher, ähnlich wie beim WIMP Interface, wo die Desktop Metapher eingesetzt wird, um die Interaktion mehr intuitiver zu machen. Bei der Entwicklung so einer Kartenmetapher muss man vier Nachteile berücksichtigen [WOR-04 S.305]:

- Karten sind **statisch** und können daher Veränderungen von geographischen Sachverhalten nur schwer darstellen.
- Karten sind **zweidimensionale** kartographische Ausdrucksformen und sind nur schwer in der Lage dreidimensionale geographische Features mit der Kartenmetapher zu repräsentieren.
- Karten und Kartensymbole basieren nur auf dem **visuellen IO Kanal** und können die Vorteile der anderen IO Kanäle (auditiv, haptisch) nicht nutzen.
- Für Karten sind nur **limitierten Rückmeldungen** möglich.

### *3.3.2 Geovisualisierung*

Die Geovisualisierung ist ein Prozess, der unter der Nutzung des Computers, raumbezogene Informationen darstellt. Geovisualisierung verwendet Dynamik, Interaktivität und Multimediabereiche des Computers um geographische Probleme zu lösen oder neue Ansichten für den Nutzer zu ermöglichen. Die vier bedeutendsten Visualisierungstechniken für raumbezogene Informationen sind: Animation, 3-dimensionale Displays, Non-visuelle Displays und Feedback.

#### *3.3.2.1 Animation*

Der Begriff leitet sich aus dem lateinischen Wort „animare“ ab und bedeutet: lebhaft, beleben. Ursprünglich wurde die Animation im Trickfilm verwendet, um eine Illusion von

Bewegung zu erstellen. Hier macht man sich die Trägheit des Gehirns zu nutzen, da dieses ab 10 Bildern pro Sekunde die einzelnen Frames als diese nicht mehr erkennen kann und dabei nur Bewegung feststellt, falls sich diese aufeinander folgenden Frames nur gering unterscheiden. In der digitalen Kartographie werden einzelne Bilder erstellt und dann in schneller Abfolge, meist 24 Bilder pro Sekunde, abgespielt. Damit erhält der Betrachter den Eindruck von Dynamik. Die Animation ist ein intuitiver Mechanismus für die Visualisierung komplexer Phänomene im Gegensatz zur statischen Karte. [DRA-97a S.11-15]

In der Kartographie wird die Animation erst seit den 1990er Jahren verwendet. Dabei werden die graphischen Variablen, die zur statistischen Darstellung verwendet werden, durch die drei dynamischen Variablen **Dauer**, **Veränderungsrate** und **Reihenfolge** animiert. [RIE-00 S.73]

### 3.3.2.2 3D-Displays

Herkömmliche Karten und die meisten kommerziellen Computerbildschirme können dreidimensionale Informationen zweidimensional darstellen. Bisher wurden kartographische Ausdrucksformen nur zweidimensional präsentiert, abgesehen von Reliefs und Globen. Mit neuen Technologien, der Weiterentwicklung zu immer leistungsfähigeren Computersystemen und durch dem Internet, welches als globales Distributions- und Kommunikationsmedium dient, wird versucht, die raumbezogenen Informationen drei- oder mehrdimensional, mit Hilfe einer Echtzeitinteraktion, darzustellen. Der Nutzer kann somit mit dreidimensionalen Daten interagieren und muss nicht mehr den Informations- und Qualitätsverlust von zweidimensionalen Interfaces und Präsentationsmedien hinnehmen. [WOR-04 S.309]

Beispiele für die Brauchbarkeit von dreidimensionalen Präsentationsmittel werden anhand von drei verschiedenen Geländedarstellungen repräsentiert. In der Topographie versucht man schon seit langem die dreidimensionalen Geodaten realistisch abzubilden.

- Einerseits kann man dieses Problem mit den **Höhenschichtlinien**, Linien gleicher Werte, lösen. Diese Linien haben einen gewissen gleichbleibenden Abstand (Äquidistanz) zueinander. In der ÖK50 gibt es 100-er- (100 Meter Abstand) und 20-er-Höhenlinien (20 Meter Abstand).
- Eine weitere Möglichkeit Geländeformen zu visualisieren, besteht in Form von **hypsommetrischen Karten**. In diesen Karten wird die Höhe mittels verschiedensten Farben dargestellt. Sie sind den Höhenschichtlinien ähnlich, doch hier werden die Flächen zwischen den Höhenlinien mit der entsprechenden Farbe eingefärbt.

Diese beiden Arten der Geländedarstellung sind sehr abstrakt und expressiv, womit vom Kartenleser eine gewisse Erfahrung und ein entsprechender Denkprozess verlangt werden.

- Eine intuitive Möglichkeit ist die Abbildung des Geländes mit Hilfe einer **Schummerung**. Hier wird eine Schattierung des Geländes durch eine imaginäre Lichtquelle simuliert, was zur Folge hat, dass ein räumlicher Eindruck entsteht.

In der praktischen Umsetzung der Applikation bekommt die Abbildung mit Unterstützung der Schummerung und mit einem hypsometrischen Overlay ein plastisches Aussehen.

Eine weitere Möglichkeit einen dreidimensionalen Effekt zu erlangen, besteht in der Zuhilfenahme der Psychologie. Durch die Impression von Tiefe (relative Größen, lineare Perspektiven oder Interposition) wird der menschliche Verstand getäuscht und die Illusion eines dreidimensionalen Raumes wird geschaffen. Das Darstellen von dreidimensionalen Phänomenen der realen Welt ist eine Aufgabe des GIS-Interfaces. [WOR-04 S.310]

### *3.3.2.3 Non-visuelle Displays*

Alle konventionellen Karten sind nur über den visuellen Kanal vom Menschen zugänglich. Doch im GIS-Interface kann man auch andere non-visuelle menschliche Input-Kanäle verwenden, wie die Akustik. Sonifikation ist der Prozess der Sound zur Repräsentation von Daten verwendet. Man unterscheidet zwischen symbolischen und realistischen Geräuschen. Bei Soundsymbolen handelt es sich um abstrakte Geräusche. Es gibt viele Soundvariablen wie Lautstärke oder Tonhöhe. Aufgrund der vorhandenen Dynamik, besitzen diese dynamischen und visuellen Variablen wiederum Dauer, Veränderungsrate und Reihenfolge. Der realistische Sound erfreut sich beim Interfacedesign immer größerer Beliebtheit. Mit unserem Gehörsinn können wir auch im dreidimensionalen Raum Informationen aufnehmen, wie Richtung, Entfernung (Lautstärke) und erkennen, ob es sich etwas von uns entfernt oder näher kommt (Doppler-Effekt). Diese Effekte werden bei den digitalen Soundsystemen in Kinos verwendet. Man nennt dies auch raumbezogene Hörschärfe. [WOR-04 S.312-313]

Neben den akustischen Methoden Benutzerschnittstellen zu gestalten, gibt es auch noch sogenannte haptische Displays, welche durch den Tastsinn wahrgenommen werden. Heutzutage zählen viele Anwendungen wie Braille Displays, Game Controller oder Handys mit Vibracall dazu. [WOR-04 S.313]

### *3.3.2.4 Multimodale GIS Interfaces*

Multimodale GIS Schnittstellen können alle drei Displayarten (visuell, akustisch, haptisch) beinhalten. Dies hat drei Vorteile [WOR-04 S.313]:

- Multimodale Interfaces werden von einer größeren Variation von Benutzern verwendet als unimodale Schnittstellen.
- Multimodale Interfaces arbeiten an einer breiteren Variation von Konditionen. Ist ein Nutzer zum Beispiel im visuellen Bereich eingeschränkt, so hat er noch andere Möglichkeiten.
- Multimodale Interfaces ermöglichen den Nutzern den Zugang zu komplementären Informationen über unterschiedliche IO-Kanäle. Dies steigert die Effizienz und verringert die Fehlerquote bei der Mensch-Computer Interaktion.

### 3.3.2.5 Wichtigkeit des Feedbacks in einer GIS Applikation

Anhand des Feedbacks (Rückmeldung) kann der Nutzer feststellen, was er für eine Aktion gewählt hat und was damit erzielt wurde. Bei der Benützung einer kartographischen Benutzeroberfläche ist es natürlich sehr wichtig, eine Rückmeldung zu bekommen. Das Feedback ist somit ein wichtiger Schlüsselprozess und hilft dem Nutzer zu der richtigen Handhabung der Applikation. Ein bedeutender Faktor des Feedbacks ist die Reaktionszeit zwischen der Eingabe des Anwenders bis zur Verarbeitung durch den Computer. In der Regel wären 0,1 Sekunden ideal, 0,1 bis 1 Sekunde gilt als akzeptabel und ab 10 Sekunden sind nicht mehr geeignet zum Arbeiten am PC. Haupttechnik des Feedbacks ist die Selektion von Mengen und die simultane Sicht als Resultat der Abfrage, was man als dynamische Abfrage bezeichnet. [WOR-04 S.314]

Die vier häufigsten dynamischen Abfragen einer kartographischen Applikation sind [WOR-04 S.313]:

- **Zoomen:** Ist die Veränderung der Detailebenen (bei einer Karte wäre dies die Veränderung des Maßstabs).
- **Panning** (Schwenken): Ist die Veränderung des Ausschnitts eines Datensatzes ohne den Maßstab zu verändern.
- **Fokussieren:** Die Veränderung des Grenzwertes wird als ein Kriterium für dynamische Abfragen gebraucht.
- **Brushing:** Dies ist wichtig, um für bestimmte Standorte dynamische Abfrageinformationen, in Bezug auf diesen Standort, zu erhalten.

Diese dynamischen Abfragetechniken werden oft mit verlinkten Sichten des Datensatzes verwendet. Wenn man mit dem Mauszeiger zum Beispiel über eine Stadt „berührt“, könnte ein kleines Kästchen geöffnet werden, welches die Einwohnerzahl, Arbeitslosenrate, Anzahl der Pensionisten usw. anzeigt. Beim Feedback erfolgt der Input der Informationen

hauptsächlich über den haptischen Kanal, die Eingabe erfolgt also über Maus und Tastatur. Akustische Input-Möglichkeiten, z. B. über die Sprache, wurden schon einige entwickelt, die in der Zukunft häufiger Verwendung finden werden. Auch die Bewegungen des Menschen im Raum werden schon als verwendet, um mit dem Computer zu kommunizieren. Genauso gibt es Methoden, die erlauben, mit den Augen und mit der Gestik mit der Maschine „zu sprechen“. [WOR-04 S.313-314]

### **3.4 Interaktivität einer GIS-Applikation, die drei kartographischen Interaktionskomplexe**

Unter einer Interaktion versteht man die Wechselbeziehung zwischen zwei Handlungspartnern [HAK-02 S.282]. Umgelegt auf die Kartographie ist das, die Wechselbeziehung zwischen dem Kartennutzer und dem kartographischen Produkt. In der analogen Kartographie ist der Kommunikationsprozess ein Monolog, in der digitalen Kartographie spricht man von einem Dialog. Interaktivität ist eine Grundvoraussetzung einer online-basierenden Applikation. Der Entwickler einer interaktiven kartographischen Applikation verliert, aufgrund der Einflussnahme des Nutzers auf das kartographische Produkt, die Kontrolle darüber. Jedoch bestimmt der Entwickler den Grad der Interaktivität, also die Kontrollierbarkeit durch den Nutzer und somit auch das Ausmaß des eigenen Kontrollverlustes. [RIE-00 S.76]

Die wichtigsten Interaktionsmöglichkeiten einer kartographischen Applikation fasst Andreas Riedl in [RIE-00 S.77] wie folgt zusammen:

- Orientieren und Navigieren
- Einflussnahme auf das kartographische Erscheinungsbild
- Informationsabfrage und Informationsintegration

#### *3.4.1 Orientieren und Navigieren*

Der User soll die Möglichkeit haben sich in der GIS-Applikation frei bewegen zu können, sei es räumlich, zeitlich und thematisch. Das Interface muss natürlich an diese Interaktionsmöglichkeiten angepasst werden.

- Die räumliche Veränderung kann stationär oder mobil mobil. Der Standort ist also entweder fix und nur die (der) Blickrichtung (-winkel) ändert sich oder es findet eine koordinative Veränderung durch die Pan-, Grab- und Scrollfunktion statt.
- Die zeitliche Navigation ermöglicht dem Nutzer verschiedene Zeitpunkte zur Betrachtung der Informationen zu wählen.

- Der thematische Bewegungsbereich versucht dem Anwender durch die Zoom-Funktion unterschiedliche Informationsebenen mit unterschiedlichen Informationsdichten bereit zu stellen.

Zur Orientierung und Informationsinterpretation ist die Darstellung übergeordneter Erklärungen wichtig für den User. Es soll klar gestellt werden, wo man sich gerade in Raum und Zeit befindet. Dazu werden oft Übersichtskärtchen, Standpunkt, Höhe über der Erdoberfläche, Maßstabs- oder Zeitleiste, Koordinaten, usw. verwendet. Eine Legende (kann statisch oder dynamisch sein) soll eine Fehlinterpretation der Informationen verhindern. [RIE-00 S.79-80]

#### 3.4.2 Einflussnahme auf das kartographische Erscheinungsbild

Dieser Interaktionskomplex lässt den Nutzer Einfluss auf das Erscheinungsbild der Applikation nehmen. Den Grad der Beeinflussung bestimmt der Entwickler, indem er die Möglichkeiten der Einflussnahme beschränkt. Dies hängt natürlich mit der Thematik der Anwendung und der Nutzergruppe zusammen. Folgende Interaktionen lassen eine Veränderung des Erscheinungsbildes zu [RIE-00 S.80-81]:

- Die Maßstabswahl ist eine sehr beliebte Manipulation durch den User. Zahlreiche Online Anwendungen, wie z. B. Google Maps und Bing Maps verwenden sie. Die Maßstabsveränderung kann stufenlos, innerhalb eines bestimmten Bereiches, oder durch vorgegebene Werte erfolgen.
- Eine andere Möglichkeit das Erscheinungsbild zu verändern, ist die themenbezogene Einflussnahme. Diese ermöglicht dem Nutzer verschiedene Ebenen ein-/auszublenden, die Thematik auszutauschen und die Objekte ein-/ausschalten.
- Die Manipulation des grafischen Erscheinungsbildes oder des dynamischen Ablaufes wird als Veränderung der Gestaltungsparameter bezeichnet.
- In zahlreichen Applikationen kann der Nutzer noch die Attribute beeinflussen. Dadurch hat er die Möglichkeit durch die Anwendung statistischer Verfahren Klassen zu bilden und somit komplexe Daten durch Zusammenfassen besser zu visualisieren.

#### 3.4.3 Informationsabfrage und –integration

Zwei der wichtigsten Hauptfunktionen einer modernen GIS-Applikation sind die Abfrage und Integration von Informationen [RIE-00 S.81]:

- Durch eine einfache Vernetzung vertiefender Informationen mittels Links kann man, für den Nutzer leicht nachvollziehbar, die Anwendung erweitern.

- Hilfesysteme ermöglichen dem Anwender, auftretende Fragen oder Problemstellungen einfach zu lösen.
- Auch kartometrische Funktionen, wie zum Beispiel Strecken- oder Flächenmessungen, sind wichtige GIS-Funktionen, die je nach Art der Applikation implementiert werden können.
- Analyse- und Statistikfunktionen werden eher für Expertensysteme eingesetzt, denn diese überfordern den Amateur.
- Eine noch komplexere Informationsmanipulation stellt das Hinzufügen und Ändern von Attributen dar.

Die Stufe der Komplexität der Interaktion hängt von der Nutzergruppe ab. Man unterscheidet zwischen Anfänger-, Fortgeschrittenen- und Expertenstatus. Der Anfänger hat wenig Erfahrung und Vorwissen und sollte nur gering in das Erscheinungsbild der kartographischen Applikation eingreifen können. Der fortgeschrittene Nutzer kann mit einem höheren Grad an Interaktivität mehr Kontrolle über das Produkt des Kartenerstellers erhalten. Am Ende hat der Experte Zugriff auf alle (GIS-) Funktionen und vollständige Kontrolle über die GIS-Applikation. [RIE-00 S.81-82]

Die Nutzergruppe sollte grundsätzlich bei der Erstellung des Interfaces und der Bestimmung der Interaktivität bekannt sein, um die Applikation dementsprechend aufzubauen. Komplexe Funktionen und Eingriffe in das Erscheinungsbild können für ungeübte Nutzer zum Problem werden, was sich in zunehmendem Interessensverlust äußert. Diese Anwendergruppe gibt sich meist mit einem einfachen Interaktionsgrad zufrieden, was natürlich für die Applikation spricht.

### **3.5 Übermittlung der Lerninhalte einer internetbasierten GIS-Applikation**

Im derzeitigen Informationszeitalter ist es sehr wichtig die Informationen, die man den Nutzern vermitteln will, zielgruppenorientiert aufzubereiten. Darum eignen sich Computer zur Darstellung bestimmter Lerninhalte und das Internet als virtuelle Lernplattform. Geographische Informationssysteme ermöglichen zahlreiche raumbezogene Informationen aufzubereiten, zu verändern und zu visualisieren. Die Kombination aus Computer, Internet und GIS ist ein hervorragendes Instrument um dem Studienanfänger die Kartennetzentwürfe brauchbar zu vermitteln.

### 3.5.1 Geographisches Informationssystem

Das Wort Geographisches Informationssystem findet im Alltag immer häufiger Verwendung. Es setzt sich aus den Worten Geographie, Information und System zusammen, also gehört es zu den raumbezogenen Informationssystemen. Die Aufgabengebiete mit Geo-Bezug werden weltweit immer größer, wodurch die Nachfrage und die Bandbreite dieses Systems stets steigen, ob für Wissenschaft und Forschung, Politik, Wirtschaft, Militär oder Sonstiges.

Zahlreiche Definitionen prägen diesen Begriff, wird jedoch hier nur eine allgemeine Worterklärung nach Norbert Bartelme [BAR-89] angeführt: *„Ein Geoinformationssystem dient der Erfassung, Speicherung, Analyse und Darstellung aller Daten, die einen Teil der Erdoberfläche und die darauf befindlichen technischen und administrativen Einrichtungen sowie geowissenschaftliche, ökonomische und ökologische Gegebenheiten beschreiben.“*

Buziek schreibt in seinem Artikel [BUZ-97 S.20-21]: *„Die kartographische Stärke der GIS-Technologie ist in der Kombination von Datenbanktechnik, 2D-Computergraphik und Kommandosprachen zu sehen.“* GIS entwickelt sich weiter und beschränkt sich nicht mehr nur auf zweidimensionale- sondern kann auch dreidimensionale Graphiken visualisieren. Auch die Handhabung muss nicht nur expressiv mit Kommandosprache erfolgen, sondern kann genauso intuitiv und leicht erlernt werden. Der Begriff GIS wird international etabliert, trifft aber für viele Anwendungen nicht mehr ganz zu. Allgemeiner kann man so ein System als **Geo**Information-Anwendung (GI-Anwendung) bezeichnen [BAR-05 S.17]. Die Funktionalität eines GIS ist durch die sogenannten Methoden (erfassen, verändern, präsentieren, analysieren, abfragen, ...), Applikationen (Topographie, Verkehr, Anwendungen der Routen und Zielführung, Geomarketing, Landwirtschaft, ...) und Dienste (Interaktion, räumliche/thematische/zeitliche Verarbeitung, Informationsmanagement, Kommunikation, ...) gekennzeichnet. [BAR-05 S.30-38]

#### 3.5.1.1 GIS als Lernplattform (in der Lehre)

Ein Geographisches Informationssystem kann Studierenden bei der Informationsbeschaffung, -darstellung und -verarbeitung zur Hilfe stehen, also als Lernplattform dienen. Die vier wichtigen Bestandteile eines GIS sind: der geographisch interessierte Nutzer, die räumlich dargestellten Sachdaten und digitalen Karten, die spezielle GIS-Software und der leistungsfähige Computer. [RIN-07 S.386]

Ein perfektes Zusammenwirken bewirkt für den User den größten Lernerfolg. Die Informationen eines GIS werden in Punkten, Linien und Flächen als Vektordaten und als Rasterdaten zur Verfügung gestellt. Dies ermöglicht dem Nutzer verschiedenste Ebenen ein-

/auszublenden und somit die Visualisierung zu beeinflussen. Aufgrund dieser Funktion kann der Anwender sowohl für ihn wichtige Informationen in den Vordergrund und als auch unwichtige in den Hintergrund rücken.

Der Nachteil eines Geographischen Informationssystems liegt in der Komplexität, auch wenn man das System so einfach wie möglich entwickelt. Das sporadische Auseinandersetzen mit der Software lässt den Nutzer nicht zum Profi werden. Nur durch die regelmäßige Verwendung kann man ein GIS beherrschen [FRA-10 S.74]. Das komplexe Expertensystem ArcGIS z. B. hat zahlreiche Funktionen, kann verschiedenste Datentypen exportieren und importieren, hat verschiedenste Möglichkeiten einen Datensatz zu manipulieren, ... . Nur Tägliches Trainieren verspricht einen perfekten Umgang mit dem GIS.

### *3.5.1.2 GIS als multimediales System*

GIS als multimediales System kann wiederum zahlreiche andere Medien in sein eigenes aufnehmen. Es können Bilder, Videos, Audio, Texte, Links, usw. mit einbezogen werden. Dies führt zu einer fast unbegrenzten Erweiterung des Systems, somit sind der Vermittlung der Lerninhalte keine Grenzen gesetzt. Medien werden im GIS verwendet um eigentliche Informationen (kognitive Funktion) wiederzugeben und dem Betrachter zu motivieren (Motivationsfunktion). Die kognitive Funktion vermittelt Informationen und unterstützt die Bildung mentaler Modelle. Man unterscheidet zwischen [DRA-97b S.29-30]:

- Zeigefunktion/Ersatzfunktion (sollen helfen sich ein „Bild“ über die Situation machen zu können)
- Situierungsfunktion (soll helfen die Informationen in einen größeren Kontext zu stellen)
- Konstruktionsfunktion (soll die Entwicklung komplexer mentaler Modelle unterstützen)

Die Motivationsfunktion soll beim Anwender Interesse und Neugier wecken, sowie ihn dazu verleiten sich mit dem Inhalt länger auseinanderzusetzen. Ein Zusammenwirken der beiden vorher genannten Funktionen erhöht die Bereitschaft des Nutzers sich mit dem Thema genauer zu beschäftigen und erhöht den Lernerfolg.



## **4 Die praktische Umsetzung der internetbasierten GIS-Applikation der Kartennetzentwürfe**

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der detaillierten Beschreibung der praktischen Umsetzung der Projektarbeit. Beginnend mit der Konzeption, über die Datenaufbereitung, bis hin zur fertigen GIS-Webapplikation mit den Bestandteilen werden alle wichtigen Überlegungen schriftlich festgehalten.

### **4.1 Konzeption**

#### *4.1.1 Verwendete Software*

Zum Erstellen der schriftlichen Arbeit und der Tabellen wurde das Programmpaket von Microsoft MS Office 2007 verwendet. Dieses Paket beinhaltet unter anderem ein Textverarbeitungs- und ein Tabellenkalkulationsprogramm, welche sich für diese Arbeit sehr nützlich erwiesen.

Alle Abbildungen wurden mit dem Open Source Graphikprogramm „Inkscape“ erstellt und bearbeitet.

Für die Geodatenverarbeitung, -strukturierung und -visualisierung wird das Softwarepaket ArcGIS 9.3.1 der Firma Environmental Systems Research Institute (ESRI) verwendet. ArcMap kann dabei zur Bearbeitung und ArcCatalog zur Strukturierung der Geodaten verwendet werden und mit dem ArcGIS Server ist man im Stande die Daten schließlich als Service zu publizieren. [ESR-11a]

Das Interfacedesign wird mit Hilfe des Entwicklungsframeworks Adobe Flex 4, mit dem man Rich Internet Applications (RIA) entwickeln kann, konstruiert. Der Flash Builder 4 ist die dazugehörige integrierte Entwicklungsumgebung. [ADO-11a]

#### *4.1.2 Zielgruppe*

Die internetbasierte Applikation soll vor allem Studienanfänger eines Kartographie- oder Geoinformationsstudiums ansprechen. Der Nutzer kann sich anhand der Applikation eine Vorstellung über die komplexen Netzentwürfe verschaffen und soll dadurch beim Erlernen der Abbildungen einen Überblick über die Vielfalt bekommen. Jedoch kann auch jeder andere interessierte Amateurlkartograph die Applikation nutzen und hat damit die Möglichkeit sein Wissen zu erweitern.

### 4.1.3 Inhalt und Funktionalität

Die Grundkarte ist einfach aufgebaut, mit möglichst wenig, aber ausreichenden Informationen. Die gesamte Erdoberfläche muss mit Hilfe verschiedener Vektor- und Rasterdatensätze visualisiert werden. Für eine optisch ansprechende Darstellung kann man nicht auf ein Höhengschichten Overlay und eine Schummerung verzichten. Zur besseren Orientierung werden zusätzlich noch die Ländergrenzen, die Hauptstädte und der Äquator, sowie der Nullmeridian eingezeichnet. Die Tissotschen Indikatrizen und das Kartengitter helfen dem Anwender die Verzerrungen zu betrachten. Die Legende und der Maßstab (als Maßstabsleiste), als wichtige Elemente einer kartographischen Ausdrucksform, dürfen natürlich auch hier nicht fehlen. Ein weiterer wichtiger Bestandteil der GIS-Webapplikation ist ein Über-Fenster für die Informationen rund um die Anwendung (Copyright, Version, Datum der Erstellung, Ansprechpartner, ...).

Nicht nur die gesamte Erde kann in verschiedenen Auflösungen betrachtet werden, sondern auch einige ausgewählte Abbildungen von Europa. Diese Karten werden natürlich in besserer Auflösung dargestellt.

Die Funktionalität dieser Anwendung ist aufgrund der gewählten Zielgruppe eher beschränkt und weniger komplex. Die Manipulationsmöglichkeiten können schnell erlernt und angewendet werden. Der Nutzer hat weiters die Option zwischen verschiedenen Netzentwürfen zu wählen. Zusätzlich kann er sich Informationen zur jeweiligen Abbildung hinzuziehen und verschiedene Layer ein-/ausblenden. Die Navigation erfolgt entweder mittels der Maus oder anhand von Buttons.

### 4.1.4 Die Layoutierung der Anwendung

Bevor man sich Gedanken über die Gestalt der Applikation macht, sollte man herausfinden, wie die optimale Auflösung eines solchen Produkts sein soll. Die Bildschirmauflösung steigt kontinuierlich mit der Verbesserung der Hard- und Software. Die Applikation wird ab einer Auflösung von 1280 x 800 Pixel, mit einem annähernden Seitenverhältnis von 16:9, laufen. Laut einer Umfrage der Firma Traumportal verwendeten im Jänner 2010 die meisten Besucher der Webseite die Bildschirmauflösung 1280 x 800 für Internetanwendungen. [TRA-11]

Platzierung	1.	2.	3.	4.	5.
Bildschirmauflösung	1280x800	1024x768	1280x1024	1680x1050	1440x900
Angabe in Prozent	19,37 %	18,39 %	14,55 %	9,05 %	7,96 %

Tab. 3: Bildschirmauflösung Jänner 2010, eigene Darstellung nach [TRA-11]

Die Tabelle 3 zeigt die Rangreihung der Bildschirmauflösung des Unternehmens Traumportal. Es finden sich auch höhere Auflösungen unter den ersten fünf Bestplatzierten, was auf eine weitere Steigerung der Resolution schließen lässt.

Die grobe graphische Gestaltung der graphischen Benutzeroberfläche (GUI) wird folgendermaßen aussehen: Die Grundkarte soll den meisten Platz einnehmen. Die Menüs, Navigationswerkzeuge und anderen Buttons sollen nur im Hintergrund aufscheinen und sich nur bei der Verwendung im Vordergrund befinden. Auch die Popup-Fenster sollen nur bei Gebrauch erscheinen.

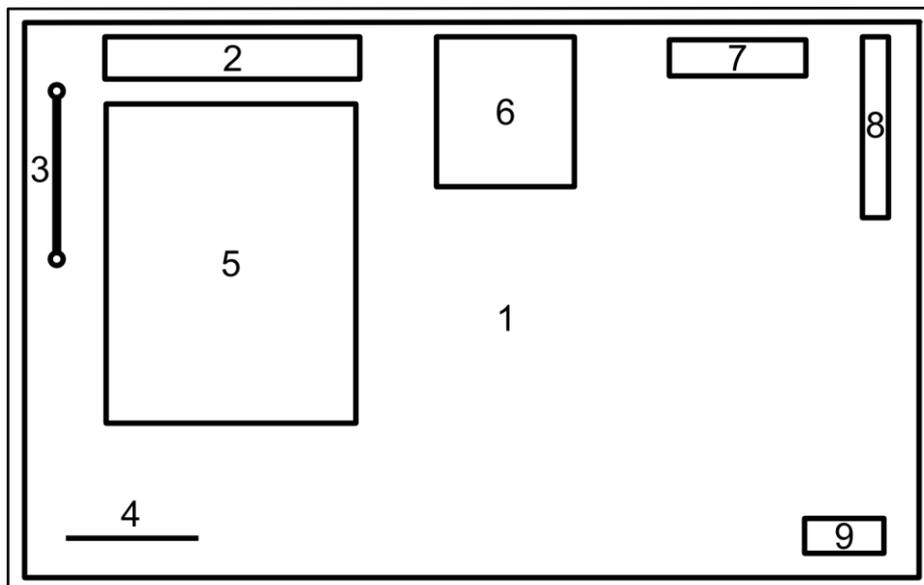


Abb. 21: Schematische Darstellung des Layouts der Applikation, eigene Darstellung

Die Abbildung 22 zeigt den schematischen Aufbau der Webapplikation. Die Zahlen in der Abbildung stehen für folgende Elemente:

- (1) Grundkarte mit bestimmten Kartennetzentwurf
- (2) Menübanner mit Benennung des Kartennetzentwurfes und den Menüs zum Wechsel der Abbildung
- (3) Zoombalken mit verschiedenen Zoomstufen

- (4) Graphischer Maßstab
- (5) Popup-Fenster für Informationen über die Abbildung, das ein-/ausgeblendet werden kann
- (6) Popup-Fenster für verschiedenen Layer, die ein-/ausgeblendet werden können
- (7) Navigationsbanner mit den Navigationswerkzeugen
- (8) Banner für diverse Buttons
- (9) ESRI Logo und Copyright

Mit diesem Layout kommt die Karte bestmöglich zur Geltung und die übrigen Elemente lenken nicht von der Webapplikation an sich, ab.

## 4.2 Erstellung der Grundkarte

Der erste Schritt, der für die Erstellung der Applikation wichtig ist, ist die Datenorganisation. Dazu zählen: Die Suche nach geeigneten Daten im Internet, die Aufbereitung in entsprechenden Programmen, der Entwurf einer ordentlichen Struktur in einer Geodatenbank und die Visualisierung mit entsprechenden Signaturen. Aus diesen Daten wird eine Grundkarte erstellt. Die Karte soll die ganze Erde umfassen und Objekte enthalten, die das Orientieren vereinfachen. Außerdem soll das kartographische Produkt auch optisch ansprechend wirken. Es stellt sich nun die Frage, welche Daten man dazu verwendet. Nach reichlicher Überlegung werden folgende Vektor- und Rasterdatensätze zur Verwendung herangezogen:

<b>Datenformat</b>	<b>Layer</b>	<b>Geometrie</b>	<b>Sachinformation</b>
<b>Vektordatensätze</b>	Hauptstädte	Punkte	Anzahl der Einwohner
	Äquator/Nullmeridian	Polylinie	
	Kartengitter 20 Grad	Polylinie	
	Kartengitter 10 Grad	Polylinie	
	Kartengitter 5 Grad	Polylinie	
	Seeflächen	Polygon	
	Ländergrenzen	Polygon	
	Tissotsche Indikatrix	Polygon	
Smiley	Polygon		
<b>Rasterdatensatz</b>	Topographisches Overlay 20 km	Rasterlayer	Höheninformation
	Schummerung 20 km	Rasterlayer	

Tab. 4: Verwendung von Vektor- und Rasterdatensätzen

Die Grundkarte wird also aus zehn verschiedenen Layer bestehen, wobei folgende selbst erstellt werden können: Äquator/Nullmeridian, Kartengitter 20 Grad, Kartengitter 10 Grad, Kartengitter 5 Grad, Tissotsche Indikatrix und Smiley. Die Rasterdatensätze kann man aus einem digitalen Höhenmodell gewinnen. Also müssen vier Datensätze über das Internet oder von anderen Quellen beschafft werden.

### 4.3 Datenquellen

Das Internet ist eine hervorragende Quelle für kostenlose Geodaten. Es existieren zwar viele kostenpflichtige Dienste, nach längerer Suchzeit findet man aber die gewünschten kostenlosen Internetservice.

Das **digitale Höhenmodell** (DHM) wird auf der Webseite der US-amerikanischen Behörde National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) [EAK-11] zum Gratis-Download angeboten. Das Projekt ETOPO1 erstellte ein globales digitales Höhenmodell mit einer Auflösung von einer Bogenminute. Dieses wurde aus verschiedenen globalen und regionalen Datensätzen zu einem einzigen globalen lückenlosen Modell zusammengesetzt und beinhaltet die Topographie und die Meerestiefenmessung. Folgende Metadaten sind in diesem Datensatz enthalten [AMA-09 S.1]:

---

<b>Version</b>	Eisflächen, Grundgestein
<b>Globale Bedeckungsfläche</b>	-180° bis 180°; -90° bis 90°
<b>Koordinatensystem</b>	Geographische Dezimalgrad
<b>Horizontales Datum</b>	World Geodetic System 1984 (WGS 84)
<b>Vertikales Datum</b>	Meeresoberfläche
<b>Vertikale Einheiten</b>	Meter
<b>Zellgröße</b>	1 Bogenminute
<b>Grid Format</b>	Multiple: netCDF, g98, binary float, tiff, xyz

---

Tab. 5: Metadaten für ETOPO1, eigene Darstellung nach [AMA-09 S.2]

Das Shapefile der 38 größten **Seen** der Erde findet man im Geodatenportal des United Nations Environment Programm (UNEP). Die Daten enthalten auch Informationen über die Wasserqualität, die von 1976 bis 1990 gesammelt und ausgewertet wurden. [UNE-11]

Der Polygonlayer mit den Ländergrenzen und der Punktelayer mit den Groß- und Hauptstädten stammen von Geologic von Dr. Benedikt (wurden in der Lehrveranstaltung PS Softwarealternativen und zur Weiterverarbeitung in der Diplomarbeit zur Verfügung gestellt). Der Länderlayer stellt die Grenzen der Erde als Shapefile dar. Der Städtelayer bein-

hältet neben vielen anderen Informationen auch die Bevölkerungszahlen der größten Städte und der Hauptstädte der Welt aus dem Jahr 2003. [BEN-11]

#### 4.3.1 Datenerstellung im ArcGIS

Die Erstellung und Aufbereitung erfolgt mit geographischen Koordinaten und als Bezugssystem wird das WGS 84 verwendet. Die Vorteile dieses Koordinatensystems liegen im quadratischen Kartennetz und darin, dass alle Rohdaten in diesem System vorhanden sind.

##### 4.3.1.1 Kartengitter 20, 10, 5 Grad

Einige Kartenlayer sind sehr einfach aufgebaut und mit ArcGIS leicht selbst zu erstellen, wie die Kartengitter 20 Grad und 10 Grad, sowie für Europa 5 Grad Netz. Die Polylinien werden einfach an der richtigen Position (geographischen Breite und Länge) digitalisiert:

Jeder Breiten- und Längengrad wird vom Anfang- bis zum Endpunkt mittels einer Polylinie konstruiert. Der Breitenkreis 20 Grad besitzt z.B. eine nördliche Breite von 20 Grad und eine Ausdehnung von -180 Grad bis +180 Grad. Mit dieser Methode werden alle Breiten- und Längengrade der jeweiligen Kartengitter erstellt. Am Ende werden mit dem *Editor Tool* im ArcGIS noch zahlreiche Knoten innerhalb der einzelnen Linien eingefügt, damit das Kartengitter nicht nur aus starren Linien besteht, sondern je nach Kartennetzentwurf die Form von Kurven, Ellipsen, Parabeln, Hyperbeln und Kreise annehmen kann. Die Linien des Kartengitters sind schwarz, um sich deutlich vom Hintergrund abzuheben.

##### 4.3.1.2 Äquator und Nullmeridian

Dieser Layer lässt sich leicht aus dem Gradnetz gewinnen, indem man alle anderen Netzlinien löscht und den Äquator und den Nullmeridian unverändert lässt. Die Polylinie erhält eine rote Farbe, damit man diese leicht vom restlichen Kartengitter unterscheiden kann.

##### 4.3.1.3 Tissotsche Indikatrix

Die Konstruktion der Verzerrungsellipsen gestaltet sich etwas schwieriger. Die Tissotschen Indikatrizen werden durch die winkeltreue Mercator-Abbildung erstellt, in welcher sie als Kreise dargestellt werden. Die Ersten werden am Äquator mit 30-Grad-Abständen zueinander gesetzt. Entlang der nördlichen und südlichen Breite werden die Verzerrungsellipsen auf 30 und auf 60 Grad platziert. Am Äquator beträgt die Länge des Radius rund 7,5 Grad, was 834,9 Kilometern entspricht (1 Grad sind rund 111,3 Kilometer). Aufgrund der Längen- und Flächenverzerrungen vergrößern sich die Kreise in Richtung der Pole. In der Europadarstellung müssen die Verzerrungsellipsen angepasst und dadurch etwas kleiner abgebildet werden.

Breite $\varphi$	0	30	40	50	60	70	90
<b><i>h</i> und <i>k</i></b>	1,00	1,15	1,31	1,56	2,00	2,92	$\infty$
<b>Radius Welt</b>	834,90	964,06	-	1298,87	-	2441,08	$\infty$
<b>Radius Europa</b>	300,00	-	391,62	466,72	600,00	877,14	$\infty$

Tab. 6: Berechnung der Radien der Tissotschen Indikatrix

Die Tabelle 6 visualisiert das Verhältnis (*h* und *k*, der Längenverzerrungen) der Radien (in Kilometern) der Tissotschen Indikatrizten der Welt- und der Europadarstellung. Es werden nur die verwendeten Breiten angegeben. Nach der Konstruktion müssen die Knoten wieder in die Kreise für die Abbildungstransformation integriert werden. Die Tissotsche Indikatrizten werden zur genaueren Abgrenzung mit blauer Flächenfärbung dargestellt.

#### 4.3.1.4 Smiley

Neben den Verzerrungsellipsen kann man auch den Smileylayer einblenden. Dieser ist eine Kopie der Tissotschen Indikatrix, nur in Form eines Gesichtes. Anhand der Verformung des Gesichtes lässt sich auf die Verzerrung der jeweiligen Kartenabbildung schließen.

### 4.3.2 Datenaufbereitung im ArcGIS

#### 4.3.2.1 Aufbereitung des DHM

Das DHM ETOPO1 liegt in einem binären Format als Integer Datentyp vor (ganzer numerischer Zahlenwert eines begrenzten Bereiches) und kann sofort im ArcGIS weiterverarbeitet werden. Der Rasterdatensatz wird genau auf die Fläche des Grenzenlayers durch eine *Analysis Mask* (Raster Calculator) abgestimmt, wobei auch fast alle Meereswerte des DHMs wegfallen. Die restlichen negativen Werte werden mit der *reclassify*-Methode eliminiert. Die Auflösung der Originaldaten werden von der Zellgröße 1 Bogenminute auf die Zellgröße 10 Bogenminuten (das entspricht rund 18,6 Kilometer) verringert, um die Datenmenge geringer zu halten. denn bei der Welt Darstellung benötigt man keine hochauflösenden Daten. In der Europadarstellung, die einen viel kleineren Extent (nördliche Breite: 34° bis 70° und Länge: 25° West bis 45° Ost) besitzt, misst die Kante eines Pixels des Rasterdatensatzes rund 2 Bogenminuten (das entspricht rund 3,7 Kilometer). Aus dem Höhenmodell wird einerseits ein Overlay mit einer kontinuierlichen topographischen Farbgebung und andererseits eine Schummerung erstellt, um einen plastischen Effekt zu „illusionieren“. Am Ende wird die Transparenz des Overlays auf 30 Prozent gesteigert, damit man die Schummerung, die darunter liegt, erkennen kann.

#### 4.3.2.2 *Aufbereitung des Städtelayers*

Erstens muss der Städtelayer mit dem Grenzenlayer abgestimmt werden, sodass keine Städte im Meer liegen. Zweitens müssen Hauptstädte durch eine gestufte Signatur in vier verschiedenen Größen in Bezug auf die Einwohnerzahl als Kreise mit roter Flächenfärbung und einem schwarzen Punkt im Zentrum repräsentiert werden. Die willkürliche Stufung ist der Legende der Abbildung 22 zu entnehmen.

#### 4.3.2.3 *Der Ländergrenzenlayer*

Dieser Datensatz wird mit einer schwarzen Linie und einer transparenten (keiner) Flächenfärbung visualisiert. Somit kann man die Küsten und die Ländergrenzen sehr deutlich erkennen.

#### 4.3.2.4 *Der Seelayer*

Dieser Datensatz muss eigentlich nicht mehr weiter bearbeitet werden. Er enthält zwar mehr Daten als erforderlich (Wasserqualität), aber das stört in der Applikation aber nicht. Als Signatur wird ein helles Blau für diese Fläche verwendet, das sich vom Meerwasser abhebt.

#### 4.3.3 *Die fertige Grundkarte*

Die Abbildung 22 zeigt das Ergebnis – die fertige Grundkarte. Bei der Darstellung handelt es sich um ein geographisches Koordinatensystem mit dem WGS 84 als Bezugssystem. Es werden alle erforderlichen Layer bis auf den Smiley-Datensatz und die restlichen Kartengitter (5 Grad, 10 Grad) dargestellt. In der Karte sieht man deutlich, dass die unterschiedlichen Ebenen miteinander harmonisieren und die Farben der einzelnen Signaturen leicht zu unterscheiden sind. Die Schummerung und das Overlay lassen darüber hinaus die feste Erdoberfläche plastischer erscheinen.

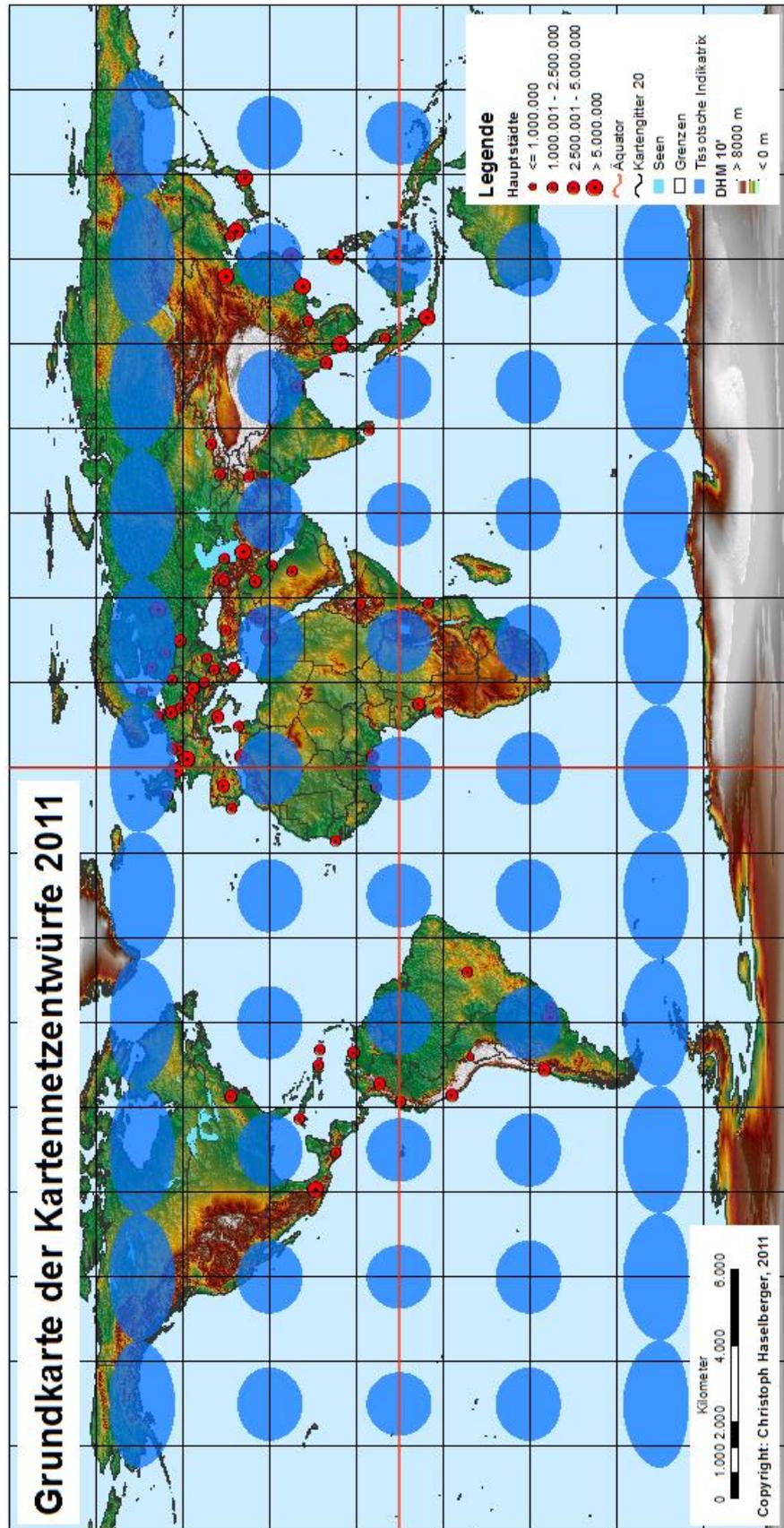


Abb. 22: Die fertige Grundkarte mit Kartenrandangaben

## 4.4 Ergebnis der technische Umsetzung

Dieser Abschnitt beschäftigt sich mit der Erklärung der Schritte beginnend mit der Systemarchitektur des ArcGIS Servers über die Datenorganisation bis hin zur fertigen Applikation. Die einzelnen Komponenten und das Zusammenwirken in der fertigen Applikation werden vorgestellt.

### 4.4.1 ArcGIS Server System Architektur

Der ArcGIS Server für die Java Plattform ist ein mächtiges Werkzeug für die Veröffentlichung von Geodaten über das Internet. Dabei handelt es sich um GIS-Ressourcen, die mit dem ArcGIS Paket erstellt und verändert werden können, wie: Map-Dokumente, Globe-Dokumente, Address Locator, Geodatabases, Toolboxes, Rasterlayer usw. Die Vorteile, die Daten über einen GIS-Server bereitzustellen, sind folgende: die Daten werden zentral verwaltet, eine große Anzahl an Nutzern haben Zugang zu Support und erhalten die aktuellsten Daten. Der Unterschied zwischen einem GIS- und einem Daten-Server liegt in der erweiterten Funktionalität. Der Erstgenannte ermöglicht neben Verwendung der Ressourcen auch den Zugang zu den GIS-Funktionalitäten, womit zum Beispiel der Nutzer mit einer Karte interagieren kann. [ESR-11b]

Drei wichtige Arbeitsschritte werden abgewickelt, damit der User die geographischen Informationen verwenden kann [ESR-11b]:

- Der Autor erstellt die GIS-Ressource im ArcGIS Desktop.
- Das Publizieren der Ressource findet als Service mittels des ArcGIS Servers statt. Vor der Veröffentlichung muss das Potenzial des Service eingestellt und überprüft werden, ansonsten kann es zu Fehlermeldungen kommen.
- Der Gebrauch des Service erfolgt durch eine Client-Applikation. Die Client-Applikation kann aus einer Webapplikation, einer mobilen Applikation, einem **Open Geospatial Consortium (OGC) Service**, einer **Keyhole Markup Language (KML)** Netzwerkverknüpfung oder einem anderen Klienten bestehen, der/die die Daten an den Nutzer weitergibt.

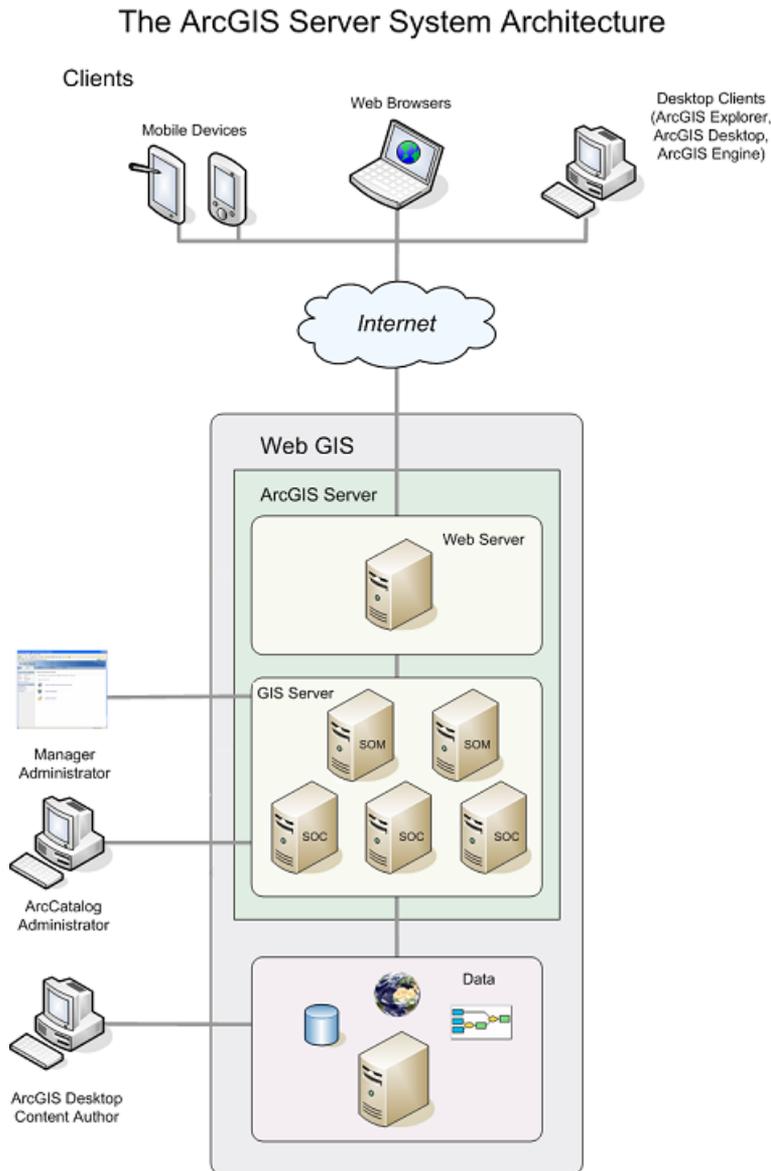


Abb. 23: ArcGIS Server System Architektur [ESR-11b]

Der ArcGIS Server wird in zwei Hauptbestandteile gegliedert, nämlich in einen GIS- und einen Web-Server. Der **GIS-Server** besteht aus zwei Teilen dem Server Object Manager (SOM) und dem Server Object Container (SOC). Die SOM-Maschine ist für den reibungslosen Ablauf des Service am Server verantwortlich, also für das Management der GIS-Ressource. Nach der Anfrage eines Klienten stellt das SOM-System Service für den Gebrauch zur Verfügung. Die SOC-Maschine bietet das Service an, das die SOM-Maschine verwaltet. Ein Server Object Manager kann sich mit mehreren Server Object Containern verbinden (siehe Abbildung 23). Der **Web-Server** vertreibt die Webapplikation und die Dienste, die notwendig sind, damit die gebrauchten Ressourcen am GIS-Server laufen. Die **Klienten** verbinden sich durch ein Netzwerk (meist das Internet, kann aber auch ein fir-

meninternes lokales Netzwerk sein) mit dem ArcGIS Server. Am **Daten-Server** sind die GIS-Ressourcen, die am GIS-Server veröffentlicht werden, gespeichert. Der ArcGIS **Manager** oder der **ArcCatalog Administrator** kann die Dienste veröffentlichen. Beim Manager handelt es sich um eine Manager-Applikation zum Publizieren von Diensten, für administrative Aufgaben rund um den GIS-Server, zur Erstellung von Webapplikationen usw. Der ArcCatalog kann außerdem eine Verbindung zu einem GIS-Server herstellen. [ESR-11b]

#### 4.4.2 ArcGIS Application Program Interface für Flex

Mithilfe des ArcGIS Managers kann jeder Anwender mit etwas Computer- und GIS-Erfahrung sehr rasch Webapplikationen zur Bereitstellung der GIS-Ressourcen erstellen. Der Manager eignet sich jedoch nicht für eine professionelle Darstellung mit entsprechendem und an die Anwendung angepasstem Interfacedesign. Das Interface ist vorgegeben und kann nur geringfügig verändert werden. Somit ist der Manager für eigens entworfene Schnittstellen nicht zu verwenden. Dafür kann man das Entwicklungsframework Flex 4 von Adobe hervorragend mit dem ArcGIS Server durch ein **Application Program Interface (API)** in Verbindung setzen. PCMAG definiert ein API als [PCM-11]: „*A language and message format used by an application program to communicate with the operating system or some other control program such as a database management system (DBMS) or communications protocol.*”

Das API für Flex ermöglicht dem Entwickler dynamische **Rich Internet Applications (RIA)** zu erstellen. PCMAG versteht unter einer RIA [PCM-11]: „*A Web-based application that approaches the speed and elegance of a local application. An RIA typically refers to an application that requires the Web browser to run embedded scripts within Web pages; however, it may also refer to a "rich client application" that does not use the browser.*”

Die Installation des ArcGIS Servers ist nicht erforderlich, um mit dem ArcGIS API für Flex arbeiten zu können, man muss lediglich über ein Netzwerk (z.B. Internet) auf die Service zugreifen können. Die Entwicklungsframework Adobe Flex besteht aus MXML (Magic eXtensible Markup Language), die auf XML (eXtensible Markup Language) basiert, der objekt-orientierten Programmiersprache ActionScript (AS), der Server-Komponenten LiveCycle Data Service, die Flex mit anderen Serveranwendungen kommunizieren lässt und der integrierten Entwicklungsumgebung Adobe Flash Builder 4. [ADO-11a]

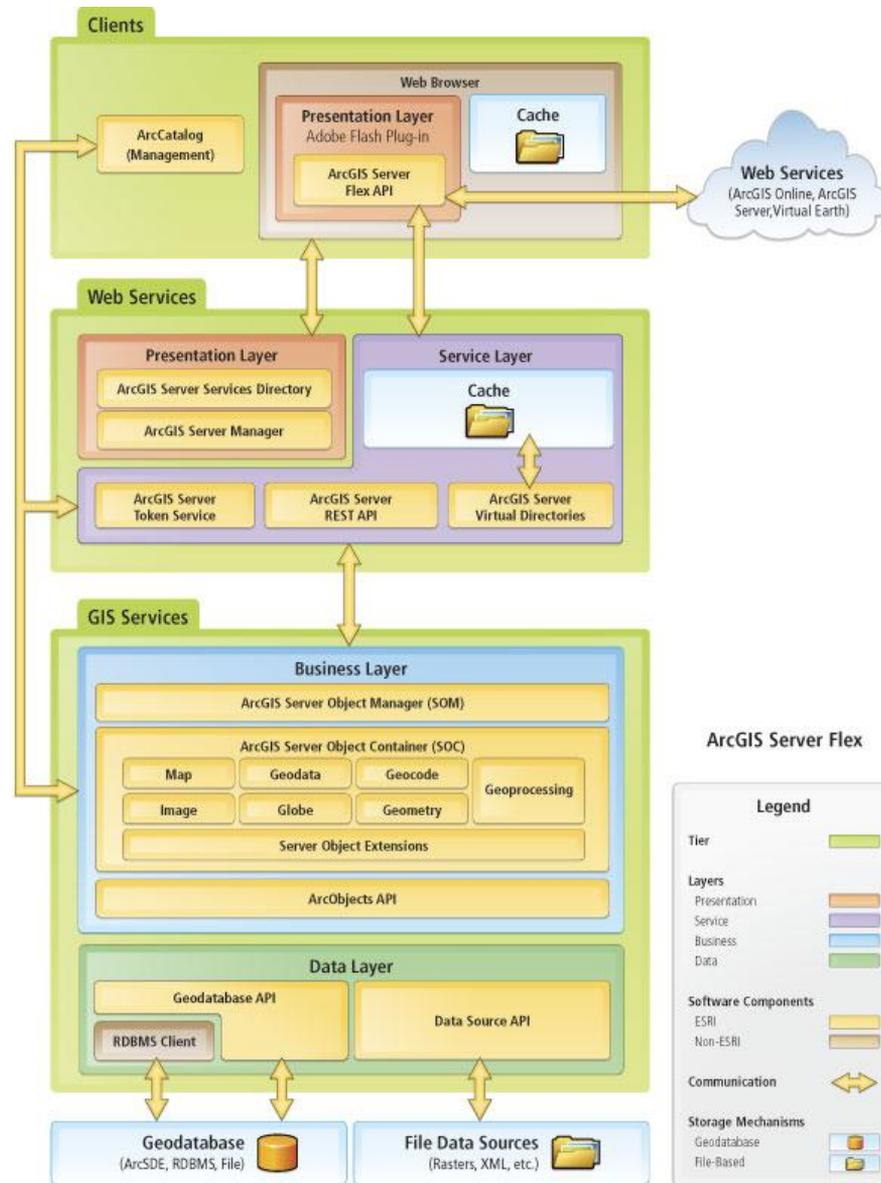


Abb. 24: ArcGIS Server Flex API implementiert im Server System [ESR-11d]

Die Abbildung 24 zeigt nochmals die ArcGIS Server System Architektur und die Positionierung des Flex API. Flex ist für die Präsentation der GIS-Ressourcen im Webbrowser des Klienten zuständig. Die erstellten AS- und mxml-Skripten werden mithilfe des Flex Software Development Kits (SDK) zu einer Shockwave Flash (SWF)-Datei kompiliert. Diese Datei kann dann über den Webserver direkt zum User in den Web-Browser übertragen werden. Zum Betrachten der GIS-Informationen ist jede aktuelle Version der gängigsten Browser (Firefox, Safari, Internet Explorer, Google Chrome, Opera, ...) geeignet. Als Plug-In muss nur der Adobe Flash Player (am besten die aktuellste Version) installiert werden. Damit ist Flex ein Betriebssystem und Browser unabhängiges Werkzeug zum Darstellen von Geoinformationen. [ADO-11b]

#### 4.4.3 Datenorganisation

Der ArcCatalog ist ein hervorragendes Programm für das Management der Geodaten, siehe Abbildung 25. Diese Daten sind in einem übergeordneten Ordner mit der Bezeichnung „Projection\_World“ abgespeichert. Dieser beinhaltet zwei Unterordner, in denen die Layer-Typen, die einzelnen Map-Dokumente des jeweiligen Kartennetzentwurfes und eine File Geodatabase (kann GIS Datensätze verwalten) mit der Namensgebung „Projection“ aufbewahrt werden. In der Geodatabase sind zur jeweiligen Kartenabbildung zwei Rasterdatensätze (Schummerung und Overlay) und ein Feature Dataset (beinhaltet die Vektordatensätze: Kartengitter 20 Grad, Grenzenlayer und Seenlayer) im entsprechendem transformierten Kartennetzentwurf gespeichert.

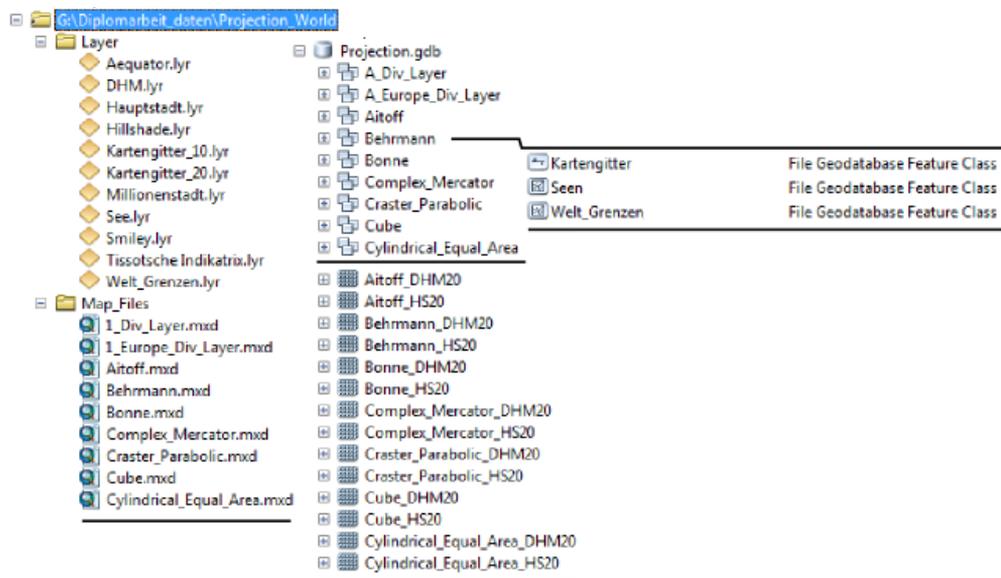


Abb. 25: Die Geodatenstruktur im ArcCatalog

#### 4.4.4 Die Applikation und die Bestandteile

Die GIS-Webapplikation besteht aus fünf wesentlichen Bestandteilen, die die Nutzung unterstützen und aus einem Start-, einem Informations- und einem **Über-Popupfenster**. Zu diesen Hauptkomponenten zählen die Legende, die Navigationswerkzeuge, das Fenster für die Layerauswahl, das Hauptmenü/Nebenmenü und die Applikation selbst. Den Source Code der Anwendung (z. B. die Mollweide-Abbildung) und der einzelnen Komponenten findet man im Anhang beziehungsweise auf der Daten-CD.

#### *4.4.4.1 Start-, Informations- und Über-Popupfenster*

Das Start-Popupfenster wird gleichzeitig mit der Startseite geöffnet und gibt den Titel, den Verfasser und die Studienzuordnung der Diplomarbeit wieder. Zusätzlich findet man Links zur Universität Wien und der zuständigen Institution.

Das Informations-Popupfenster enthält die wichtigsten Daten zur jeweiligen Kartenabbildung: den Entwickler, die wichtigsten Abbildungseigenschaften, Informationen zum Gradnetz, zum Maßstab, zu den Verzerrungen und den Verwendungsbereichen. Zusätzlich leitet ein Link zum jeweiligen Kartennetzentwurf der ArcGIS Webseite weiter.

Das Über-Fenster kann man direkt in der Anwendung als Popupfenster öffnen, es steht somit jederzeit zur Verfügung. Darin befinden sich Informationen zur Systemvoraussetzung und Kompatibilität, zur aktuellen Version und zum Verfasser.

#### *4.4.4.2 Die Legende*

Bei dieser Komponente handelt es sich nicht um eine dynamische, sondern auch um eine stationäre Legende. Dieses kartographische Element kann im gesamten Bereich der Anwendung platziert werden. Es handelt sich um eine .png Datei, die von ArcGIS mit den entsprechenden Informationen exportiert wurde. In der GIS-Applikation wurden zwei nur minimal unterschiedliche Legenden implementiert. Eine davon ist für alle Kartennetzentwürfe der Erddarstellungen zuständig und die andere zeigt die Signaturen der Europadarstellung. Die Abbildung 26 zeigt die beiden Zeichenerklärungen im Vergleich.



Abb. 26: Links wird der Zeichenschlüssel der Welt Darstellungen und rechts der Zeichenschlüssel der Europadarstellungen abgebildet.

#### 4.4.4.3 Die Navigation

In einer interaktiven kartographischen Anwendung sind die Navigationswerkzeuge überaus wichtige Bestandteile. Der Nutzer muss die Möglichkeit haben, den Maßstabsbereich und den Extent zu ändern. Dies erfolgt intuitiv durch die Zoom-In und Zoom-Out Buttons, durch das Scrollen mit dem Mausrad oder durch den Maßstabsbalken. Der Maßstabsbereich ist vom Netzentwurf abhängig und bei den Welt Darstellungen mit dem Maßstab 1 : 30.000.000 (Europadarstellungen 1 : 7.500.000) begrenzt. Der Grund dafür ist, dass die Rasterdaten mit einer niedrigen Auflösung weniger Speicherkapazitäten benötigen. Am Maßstabsbalken wird der aktuelle numerische Maßstab als Tooltip ersichtlich.

Weitere Navigationswerkzeuge sind das Pan-(Verschiebe-)Werkzeug und der Full-Extent Button, der die Abbildung wieder in den vordefinierten Ausgangsbereich zurück transformiert. Der dynamische graphische Maßstab, der den Wertebereich entsprechend der Veränderung des Maßstabes ändert, befindet sich in der rechten unteren Ecke der Anwendung. Generell nimmt die Genauigkeit aber durch die Verzerrungen in den Randbereichen ab.

#### 4.4.4.4 Die Layerselektion

Eine weitere wichtige Komponente, die den Nutzer das Aussehen der Karte manipulieren lässt, ist das Pop-up-Fenster mit der Layerauswahl. Der Anwender hat die Möglichkeit fünf

zusätzliche Layer durch Kontrollkästchen zu aktivieren/deaktivieren. Wie in den Kapiteln 4.2.2 und 4.2.3 bereits im Detail erläutert, handelt es sich bei den Layern um den Äquator/Nullmeridian, das 10 Grad Netz (bzw. das 5 Grad Netz), den Hauptstädten, den Smiley-Layer und der Tissotschen Indikatrix (siehe Abbildung 27).

Diese Komponente besteht wiederum aus drei .mxml Dateien, die miteinander interagieren. Das „LayerVizRenderer.mxml“ File ist für die Kontrollkästchen zuständig, das „LayerTOC.mxml“ File lädt die ausgewählten Layer und die „Layer\_Canvas.mxml“ Datei ist für die optische Aufbereitung des Popup-Fensters verantwortlich. Auf der Daten-CD befinden sich die jeweiligen Quelltexte, die mit Kommentaren versehen sind, damit man den Zusammenhang eindeutig erkennen kann.

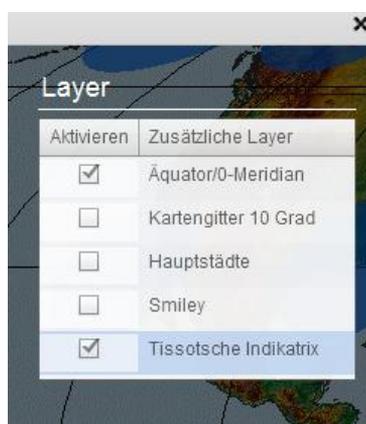


Abb. 27: Das Layer-Fenster mit zwei aktivierten Layern

#### *4.4.4.5 Das Hauptmenü und das Nebenmenü*

Das Hauptmenü konzentriert sich horizontal am oberen rechten Rand und besteht aus dem Kurztitel der Applikation, der Jahreszahl der Fertigstellung, den Menüs und der Bezeichnung der einzelnen Kartenabbildungen. Die Menü-Buttons gliedern sich in echte und unechte Darstellungen und in einer weiteren Verzweigung in azimutale, konische und zylindrische Netzentwürfe. Das Hauptmenü hat die Aufgabe die unterschiedlichen Abbildungen miteinander zu verknüpfen.

Das Nebenmenü erstreckt sich vertikal am oberen rechten Bereich und beinhaltet die einzelnen Buttons für die Popup-Fenster, die in den vorigen Absätzen (4.3.4.1 - 4.3.4.4) erklärt wurden und einer Druckfunktion.

#### *4.4.5 Das Zusammenwirken der Komponenten in der Applikation*

Beim Aufbau der Applikation wurde darauf geachtet, dass das Erscheinungsbild nicht zu überladen wirkt und einen modernen Charakter hat. Weiters wurde darauf Wert gelegt, dass sich die einzelnen Komponenten nicht behindern oder überschneiden. Dies gelang durch die fixe Positionierung der Bestandteile nach dem Öffnen. Der einheitliche Hintergrund der GIS-Webapplikation und der Bestandteile wurden teilweise transparent gestaltet, um nicht zu viel von der Karte zu verdecken. Bei der Farbgebung des Layouts wurde versucht, die einzelnen Teile so zu gestalten, dass eine Unterscheidung und Abgrenzung leicht möglich ist. In der nächsten Abbildung wird die fertige Applikation mit wichtigen Bestandteilen dargestellt. Im Tab des Browsers wurde ein Favicon (favorites icon) erstellt, das die eindeutige Zuordnung zur Anwendung gewährleistet. Viele Webseiten beinhalten im Tab das Logo für eine rasche Assoziation.

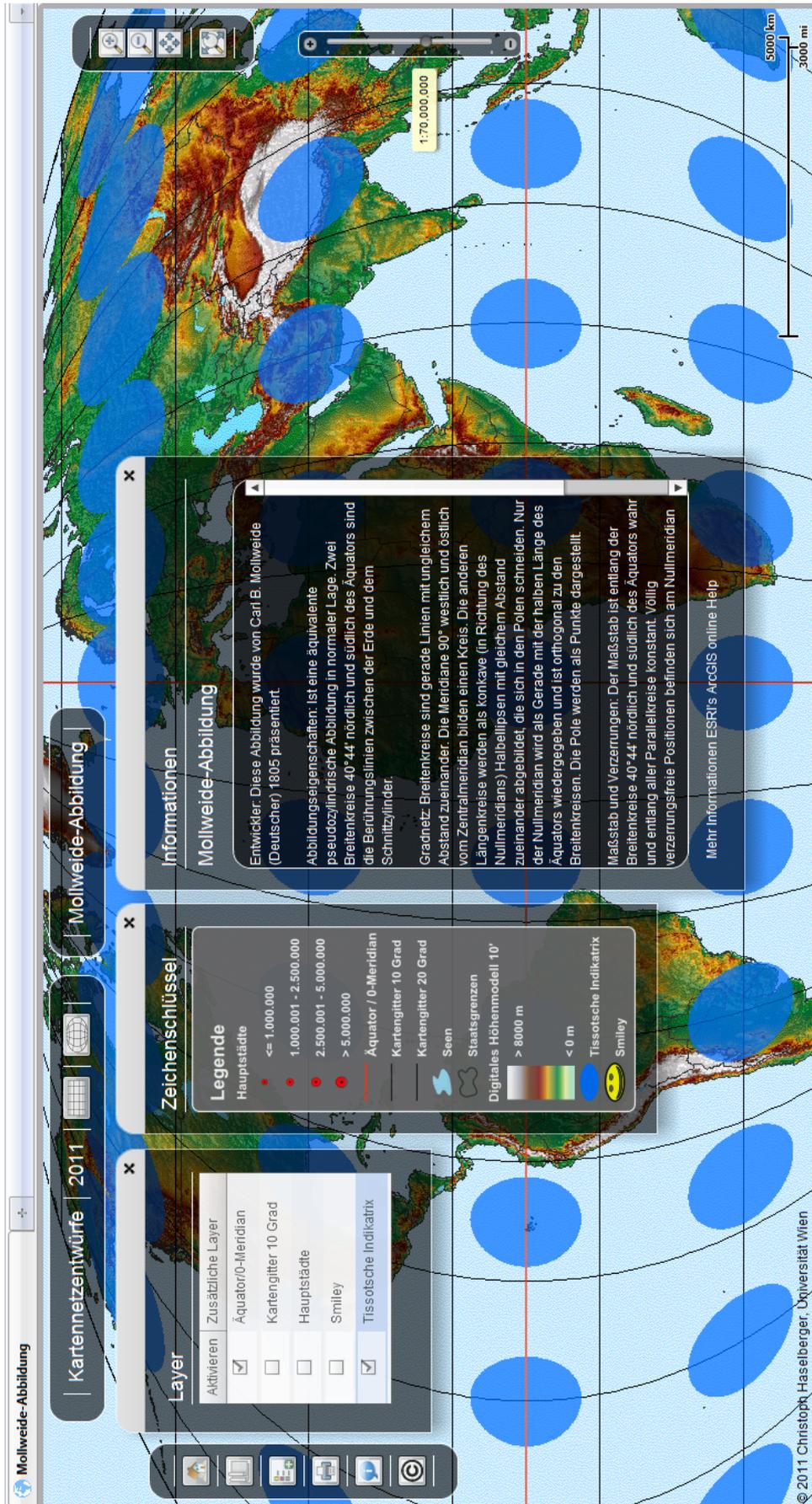


Abb. 28: Die fertige GIS-Webapplikation mit den wichtigen Bestandteilen



## **5 Zusammenfassung**

### **5.1 Ziele und Ergebnis**

Das Ergebnis dieser Diplomarbeit ist eine GIS-Webapplikation, die unterschiedliche Kartennetzentwürfe abbilden kann. Der Nutzer hat die Möglichkeit aus einem Pool von über 60 verschiedenen Abbildungen frei zu wählen. Das Interface wurde der Anwendung und der Zielgruppe speziell angepasst.

Das Hauptziel der wissenschaftlichen Arbeit, die Netzentwürfe in einer online-basierten Anwendung über einen GIS-Server zur Verfügung zu stellen, wurde erreicht. Die Auswahl erfolgt über ein Menüinterface, das den Abbildungen entsprechend klassifiziert wurde. Bei der Klassifizierung wurde darauf geachtet, dass diese mit der Lehrveranstaltung „Räumliche Bezugssysteme“ übereinstimmt, um eine leichte Assoziation zu gewährleisten. Das Menü der Anwendung wurde in echte und unechte Netzentwürfe gegliedert und weiter in azimutale, konische und zylindrische Abbildungen. Die Einteilung der Netzentwürfe zählt zum Lernprozess und dient der Wissensvermittlung.

Ursprünglich sollte der Wechsel der einzelnen Abbildungen durch ein Geoprocessing Service am ArcGIS Server erfolgen. Dadurch hätte man die Möglichkeit eigene Modelle aus dem ArcGIS Model Builder in der Anwendung zu implementieren. Doch aufgrund der Definition der unterschiedlichen Abbildungen durch einen entsprechenden ESRI internen Code (WKID), konnte dieses Werkzeug nicht verwendet werden. Dieser Code kann nicht automatisch dem jeweiligen Netzentwurf zugeordnet werden, ist aber für die richtige Darstellung besonders wichtig. Außerdem führt die Möglichkeit, einen ungeübten Nutzer die Parameter einer Kartenabbildung manipulieren zu lassen, zu suboptimalen Ergebnissen. Bei der Entwicklung der Webapplikation sollte kein Expertensystem entstehen, sondern ein Anfängersystem. Ein weiterer Grund auf den Verzicht des Geoprocessing Service stellen die langen Rechenzeiten dar. Testweise benötigt so ein Werkzeug für einen Layer 10 – 20 Sekunden, was natürlich gegen die Brauchbarkeit der Applikation spricht. Diese Probleme wurden umgangen, indem man jeden Kartennetzentwurf einzeln als eigene Applikation in einer eigenen .mxml Datei erstellte und durch das Menü miteinander verknüpfte. Der Wechsel zu einer anderen Abbildung funktioniert einwandfrei und benötigt nur einen Bruchteil der Rechenzeiten der ersten Variante.

Das Interface wurde der Zielgruppe entsprechend aufbereitet. Es wurde darauf geachtet, dass die Benutzeroberfläche intuitiv aufgebaut ist, sodass der User wenig Zeit für die „Eingewöhnung“ und Handhabung aufwenden muss. Der Nutzer kann mit dem Menüinterface zwischen den Abbildungen wechseln, welches gleichzeitig eine gewisse Gliederung

vorgibt. Die Funktionalität und Interaktivität der Applikation orientiert sich an anderen GIS-Webapplikationen. Dadurch erspart sich der Nutzer neue Funktionen zu erlernen und kann die Steuerungstechnik von anderen Anwendungen übernehmen. Das Ziel, das Interface einfach zu gestalten, wurde somit erreicht.

Die verwendeten Programme zur Erstellung dieser Diplomarbeit eigneten sich hervorragend dafür. Der ArcGIS Server ist ein ausgezeichnetes Instrument, um rasch GIS-Webapplikationen zu erstellen. Mit dem API Flex in Kombination mit dem Server hat man unbegrenzte Möglichkeiten eine RIA zu designen. Die verwendeten Programme sind perfekt aufeinander abgestimmt und ergänzen sich vollkommen. Insgesamt ist der ArcGIS Server gemeinsam mit dem Adobe Flex ein mächtiges Instrument, um anspruchsvolle GIS-Webapplikationen zu erstellen.

## **5.2 Schlussfolgerung und Ausblick**

Die Erstellung des praktischen Teils war sehr zeitintensiv. Die ersten Probleme traten zu Beginn bei der Installation des ArcGIS Servers auf, der erst ab der Variante Windows Enterprise läuft. Auch die Installation selbst war mit Problemen verbunden, die aber bald mithilfe der ESRI Online-Hilfe [ESR-11b] gelöst wurden. Das Erlernen der Programmiersprache ActionScript und das Erstellen einer .mxml Datei war anfangs sehr zeitaufwendig. Die auftretenden Probleme konnten aber mithilfe von Internetforen und ESRI's Samplecodes [ESR-11e] gelöst werden.

In Zukunft könnte die Applikation noch für den ArcGIS Server 10 angepasst und mit den neuen Kartennetzentwürfen des ArcGIS 10 Desktop erweitert werden. Eine weitere Verbesserung könnte in der Layerselektion erfolgen. Beim Wechsel der Applikation sollen die aktivierten Layer jedoch erhalten bleiben. Aufgrund der Zeitknappheit wurde dieses Problem nicht mehr berücksichtigt. Im Moment läuft die GIS-Webapplikation nur auf dem lokalen ArcGIS Server, soll aber demnächst auch auf einem Server der Universität Wien installiert werden und ausnahmslos jedem Internetuser zur Verfügung stehen.

Die Kartennetzentwürfe spielen bei allen raumbezogenen Informationen eine große Rolle und sollten deswegen vollständig verstanden werden. Es werden sicherlich noch andere Applikationen zu diesem Thema entstehen.

Die Kombination aus ArcGIS Server und Adobe Flex wird noch zahlreiche Applikationen prägen. Diese Programme sind einfach zu verstehen und es gibt unzählige Möglichkeiten sie einzusetzen.

---

## Bibliographie

- [AMA-09] AMANTE, Christopher, EATKINS, Barry W.: *ETOPO1 1 Arc-Minute global relief model: Procedures, data sources and analysis*. Boulder. National Oceanic and Atmospheric Administration. 2009. 19 S.
- [BAR-89] BARTELME, Norbert: *GIS Technologie: Geoinformationssysteme, Landinformationssysteme und ihre Grundlagen*. Berlin [u.a.]. Springer Verlag. 1989. 280 S.
- [BAR-05] BARTELME, Norbert: *Geoinformatik: Modelle, Strukturen, Funktionen*. Berlin [u.a.]. Springer Verlag. 2005. 454 S.
- [BUG-95] BUGAYEVSKIY, Lev M., SNYDER, John Parr: *Map projections: a reference manual*. London. CRC Press. 1995. 328 S.
- [BUZ-97] BUZIEK, Gerd: *Das Potential moderner Informations- und Kommunikationstechnologien aus Sicht der Kartographie*. In: Deutsche Gesellschaft für Kartographie: *GIS und Kartographie im multimedialen Umfeld: Grundlagen, Anwendungen und Entwicklungstrends*. Grünreich, Dietmar (Ed.). Bonn. Kirschbaum Verlag. 1997. 17 - 25 S.
- [CAN-02] CANTERS, Frank: *Small-scale map projection design*. London [u.a.]. CRC Press. 2002. 336 S.
- [CAN-89] CANTERS, Frank, DECLEIR, Hugo: *The world in perspective: a directory of world map projection*. Chichester [u.a.]. Wiley. 1989. 179 S.
- [CAR-99] CARTWRIGHT, William: *Development of multimedia*. In: CARTWRIGHT, William, PETERSON, Michael P., GARTNER, Georg (Ed.): *Multimedia cartography*. Berlin, New York, Springer, 1999. S. 11 – 30.
- [DRA-97a] DRANSCH, Doris: *Computer-Animation in der Kartographie: Theorie und Praxis*. Berlin [u. a.]. Springer. 1997. 145 S.
- [DRA-97b] DRANSCH, Doris: *Medienpsychologische Aspekte beim Einsatz von Multimedia in GIS*. In: Deutsche Gesellschaft für Kartographie: *GIS und Kartographie im multimedialen Umfeld: Grundlagen, Anwendungen und Entwicklungstrends*. Grünreich, Dietmar (Ed.). Bonn. Kirschbaum Verlag. 1997. 26 – 30 S.
- [FRA-10] FRANK, Jochen: *Aufbau von Raumorientierungskompetenz in der 5. Klasse Realschule: Dargestellt am Beispiel "Unterrichtsprojekt Geocaching"*. Nordersted. Grin Verlag. 2010. 120 S.
- [GLÖ-03] GLÖCKEL, Hans: *Vom Unterricht: Lehrbuch der allgemeinen Didaktik*. Bad Heilbrunn. Klinkhardt. 2003. 366 S.
- [GRÜ-97] GRÜNREICH, Dietmar: *Überblick über die aktuellen Entwicklungen der Digitalkartographie*. In: Deutsche Gesellschaft für Kartographie: *GIS und Kartographie im multimedialen Umfeld: Grundlagen, Anwendungen und Entwicklungstrends*. Grünreich, Dietmar (Ed.). Bonn. Kirschbaum Verlag. 1997. 10 – 16 S.
- [HAC-98] HACKOS, JoAnn T., REDISH Janice C.: *Users and task analysis for interface design*. NY [u. a.]. Wiley. 1998. 488 S.

- [HAK-02] HAKE, Günter, GRÜNREICH Dietmar, MENG Liqiu: *Kartographie*. Berlin. de Gruyter. 2002. 604 S.
- [ILI-00] ILIFFE, Jonathan: *Datums and map projections: for remote sensing, GIS, and surveying*. Latheronwheel. CRC Press. 2000. 150 S.
- [KES-02] KESTLER, Franz: *Einführung in die Didaktik des Geographieunterrichts*. Klinkhardt. 2002. 352 S.
- [MAI-92] MAILING, Derek H.: *Coordinate systems and map projection*. Oxford [u.a.]. Pergamon Press. 1992. 476 S.
- [NOB-10] NOBLE, Joshua, ANDERSON, Todd, [u.a.]: *Flex 4 Cookbook: Real-world Recipes for Developing Rich Internet Applications*. Sebastopol. O'Reilly Media. 2010. 768 S.
- [NOR-98] NORMAN, Donald A.: *The invisible computer: why good products can fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution*. England. MIT Press. 1998. 316 S.
- [RIE-00] RIEDL, Andreas: *Virtuelle Globen in der Geovisualisierung. Untersuchungen zum Einsatz von Multimediatechniken in der Geopräsentation*. Wien. Universität Wien. Dissertation. 2000. 196 S.
- [RIN-07] RINSCHÉDE, Gisbert: *Geographiedidaktik*. Paderborn [u. a.]. Schöningh. 2007. 513 S.
- [SCH-98] SCHULZ, Angelika: *Interface design: Die visuelle Gestaltung interaktiver Computeranwendungen*. St. Ingbert. Röhring. 1998. 253 S.
- [SHN-98] SHNEIDERMAN, Ben: *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*. Reading [u. a.]. Addison Wesley. 1998. 639 S.
- [TOR-03] TORGE, Wolfgang: *Geodäsie*. Berlin [u.a.]. de Gruyter. 2003. 369 S.
- [WES-98] WESSEL, Ivo: *GUI-Design: Richtlinien zur Gestaltung ergonomischer Windows-Applikationen*. München [u. a.]. Carl Hanser Verlag. 1998. 469 S.
- [WOR-04] WORBOYS, Michael, DUCKHAM Matt: *GIS a computing perspective*. Boca Raton [u. a.]. CRC Press. 2004. 426 S.

---

## Internetquellen

- [ADO-11a] ADOBE: *Adobe Flex, Open-Source-Framework*.  
<http://www.adobe.com/de/products/flex/?promoid=BPBDO>, Jän. 2011. [reception@adobe.com](mailto:reception@adobe.com).
- [ADO-11b] ADOBE: *Adobe Flex*. <http://learn.adobe.com/wiki/display/Flex/Getting+Started>. Jän. 2011.
- [BEN-11] BENEDIKT, Josef: *Geologic: Geoinformation & Fuzzy Logic*.  
<http://www.geologic.at>, Jän. 2011. [office@geologic.at](mailto:office@geologic.at)
- [EAK-11] EAKINS, Barry: *ETOPO1 Global Relief Model*.  
<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>, Jän. 2011.  
[Barry.Eakins@noaa.gov](mailto:Barry.Eakins@noaa.gov)
- [ESR-11a] ESRI: *ESRI Products*. <http://www.esri.com/products/index.html>, Jän. 2011.
- [ESR-11b] ESRI: *ArcGIS Server 9.3.1 Online Help*.  
<http://webhelp.esri.com/arcgisserver/9.3.1/java/index.htm#welcome.htm>, Jän. 2011.
- [ESR-11c] ESRI: *ArcGIS API for Flex*. <http://help.arcgis.com/en/webapi/flex/help/index.html>,  
Jän. 2011.
- [ESR-11d] ESRI: *ArcGIS Server Solutions Architecture Considerations*.  
<http://proceedings.esri.com/library/userconf/pug10/index.html>, Jän. 2011.
- [ESR-11e] ESRI: *ArcGIS API for Flex Samples*.  
<http://help.arcgis.com/en/webapi/flex/samples/index.html>, Jän. 2011.
- [FAU-10] FAUST, Hans-Jürgen: *Nets on net*. [http://www.netze-im-net.de/unecht\\_1.htm](http://www.netze-im-net.de/unecht_1.htm), Nov. 2010.
- [JEN-11] JENNY, Bernhard: *Flex Projector*. <http://www.flexprojector.com>, Jän. 2011.  
[jenny@karto.baug.ethz.ch](mailto:jenny@karto.baug.ethz.ch)
- [FRE-10] FREVERT, Volker: *Nebenfach „GEODÄTISCHE MESSVERFAHREN“ für Informatiker und Medieninformatiker*. [www.tu-dresden.de/die\\_tu\\_dresden/fakultaeten/fakultaet\\_forst\\_geo\\_und\\_hydrowissenschaften/fachrichtung\\_geowissenschaften/gi/gg/lehre/aiinfo.html](http://www.tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_forst_geo_und_hydrowissenschaften/fachrichtung_geowissenschaften/gi/gg/lehre/aiinfo.html), Okt. 2010.
- [GDZ-10] STOLZENBERGER-RAMIREZ, Arisleidy: *GeoDataZone*. <http://www.geodz.com>,  
Nov.2010, [arisleidy@geodz.com](mailto:arisleidy@geodz.com)
- [GOE-10] UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, Mathematik: *Historische Persönlichkeiten Göttingens in der Mathematik*. <http://www.math.uni-goettingen.de/historisches/gauss/index.html>, Okt. 2010.
- [HUR-10] HURTIENNE, Jörn: *Konstruktionstechnik und Entwicklungsmethodik*.  
[http://www.mpm.tu-berlin.de/fileadmin/fg89/PDFs/Forschung/Flyer\\_Hurtienne\\_051117\\_Deutschv03.pdf](http://www.mpm.tu-berlin.de/fileadmin/fg89/PDFs/Forschung/Flyer_Hurtienne_051117_Deutschv03.pdf),  
Dez. 2010.
- [KRI-10] KRIEGEL, Kristi. ROSSIPOTTI LITERATURLEXIKON: *Metapher*.  
<http://www.rossipotti.de/inhalt/literaturlexikon/sachbegriffe/metapher.html>, Dez. 2010.
-

- [LEG-10] MAPSOFWORLD: *Nicolas Auguste Tissot*.  
<http://www.legends.mapsofworld.com/modern/nicolas-auguste-tissot.html>, Okt. 2010.
- [SCH-11b] SCHMUNCK, Robert B.: *Panoply netCDF, HDF and GRIB Data Viewer*.  
<http://www.giss.nasa.gov/tools/gprojector>. Jän. 2011. [Robert.B.Schmunk@nasa.gov](mailto:Robert.B.Schmunk@nasa.gov)
- [PCM-11] PCMAG: *Encyclopedia*. <http://www.pcmag.com/encyclopedia>. Jän. 2011.
- [SCH-11a] SCHMUNCK, Robert B.: *G.Projector-Global Map Projector*.  
<http://www.giss.nasa.gov/tools/gprojector>. Jän. 2011. [Robert.B.Schmunk@nasa.gov](mailto:Robert.B.Schmunk@nasa.gov)
- [TRA-11] TRAUMPORTAL: *Bildschirmauflösungen Statistik 2010*.  
[http://www.traumportal.at/webdesigner\\_wien/homepage\\_grafik/posts/bildschirmaufloesungen-statistik-2010--welche-aufloesungen-werden-wirklich-verwendet1656.php](http://www.traumportal.at/webdesigner_wien/homepage_grafik/posts/bildschirmaufloesungen-statistik-2010--welche-aufloesungen-werden-wirklich-verwendet1656.php).  
Jän. 2011. [office@traumportal.at](mailto:office@traumportal.at)
- [UNE-11] UNEP: *GEO Data Portal-The Environment Database*. <http://geodata.grid.unep.ch/>.  
Jän. 2011. [woerden@grid.unep.ch](mailto:woerden@grid.unep.ch)

## Anhang

### Quelltext der Mollweide-Abbildung

```
1. <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2. <mx:Application
3.   xmlns:mx="http://www.adobe.com/2006/mxml"
4.   xmlns:esri="http://www.esri.com/2008/ags"
5.   xmlns:s="library://ns.adobe.com/flex/spark"
6.   xmlns:samples="com.esri.ags.samples.*"
7.   xmlns:info="com.esri.ags.samples.info.*"
8.   layout="absolute"
9.   width="100%" height="100%"
10.  pageTitle="Mollweide-Abbildung">
11.  <!-- CSS StyleSheet wird importiert -->
12.  <mx:Style source="style.css"/>
13.  <!-- Actionscript wird hier ausgeführt -->
14.  <mx:Script>
15.    <![CDATA[
16.      // Diverse vorgefertigte Packages werden von Adobe Flex SDK,
17.      // ESRI Flex API Bibliotheken, ... importiert
18.      import com.esri.ags.Graphic;
19.      import com.esri.ags.SpatialReference;
20.      import com.esri.ags.events.LayerEvent;
21.      import com.esri.ags.geometry.Extent;
22.      import com.esri.ags.layers.ArcGISDynamicMapServiceLayer;
23.      import com.esri.ags.layers.Layer;
24.      import com.esri.ags.samples.*;
25.      import com.esri.ags.tools.NavigationTool;
26.      import flash.net.navigateToURL;
27.      import flash.events.Event;
28.      import mx.collections.*;
29.      import mx.controls.Alert;
30.      import mx.controls.Button;
31.      import mx.controls.ButtonLabelPlacement;
32.      import mx.core.INavigatorContent;
33.      import mx.events.ItemClickEvent;
34.      import mx.events.MenuEvent;
35.      import mx.logging.LogEventLevel;
36.      import mx.managers.PopUpManager;
37.      import mx.printing.FlexPrintJob;
38.      import mx.printing.FlexPrintJobScaleType;
39.      import mx.effects.Move;
40.      import spark.components.TitleWindow;
41.      import com.esri.ags.samples.info.*;
42.      // Die Legende wird in einem TitleWindow implementiert
43.      private var dragPanel:Legende;
44.      private function showDragWindowLeg():void
45.      {
46.        //optionale Display Effekte
47.        var move : Move = new Move;
48.        move.xTo = 340;
49.        move.yTo = 70;
50.        if (dragPanel == null)
51.        {
52.          // PopUp erstellt
```

```
53.     dragPanel = Legende( PopUpManager.createPopUp(this, Legende,
54.         false) );
55.     // PopUp wird im Zentrum erstellt
56.     PopUpManager.centerPopUp( dragPanel );
57.     // und bewegt sich dann in Richtung der definierten Position
58.     move.play( [dragPanel] );
59. }
60. else
61. {
62.     PopUpManager.addPopUp(dragPanel, this, false);
63.     dragPanel.visible = true;
64.     move.play( [dragPanel] );
65. }
66. // Die diversen Layer werden in einem Title Window implementiert
67. private var dragPanell:Layer_Canvas;
68. private function showDragWindowLay():void
69. {
70.     //optionale Display Effekte
71.     var move : Move = new Move;
72.     move.xTo = 70;
73.     move.yTo = 70;
74.     if (dragPanell == null)
75.     {
76.         dragPanell = Layer_Canvas( PopUpManager.createPopUp(this,
77. Layer_Canvas, false) );
78.         // Die Layer werden bestimmt
79.         dragPanell.layers = DivLayer;
80.         PopUpManager.centerPopUp( dragPanell );
81.         move.play( [dragPanell] );
82.     }
83.     else
84.     {
85.         PopUpManager.addPopUp(dragPanell, this, false);
86.         dragPanell.layers = DivLayer;
87.         dragPanell.visible = true;
88.         move.play( [dragPanell] );
89.     }
90. // Die Informationen werden in einem TitleWindow implementiert
91. private var dragPanel2:info_moll;
92.
93. private function showDragWindowInf():void
94. {
95.     //optionale Display Effekte
96.     var move : Move = new Move;
97.     move.xTo = 560;
98.     move.yTo = 70;
99.     if (dragPanel2 == null)
100.    {
101.        dragPanel2 = info_moll( PopUpManager.createPopUp(this,
102. info_moll, false) );
103.        PopUpManager.centerPopUp( dragPanel2 );
104.        move.play( [dragPanel2] );
105.    }
106.    else
107.    {
108.        PopUpManager.addPopUp(dragPanel2, this, false);
```

```
108.     dragPanel2.visible = true;
109.     move.play( [dragPanel2] );
110. }
111. }
112. //Funktionen für die Öffnung der einzelnen zusätzlichen
    TitleWindows
113. private function openAbout():void {
114.     // Es wird ein nicht-modaler TitleWindow-Conatiner erstellt.
115.     var helpWindow:TitleWindow=
116.         PopUpManager.createPopUp(this, About, true) as TitleWindow;
117. }
118. // Funktion zum Beenden der TitleWindows
119. private function close():void {
120.     PopUpManager.removePopUp(this);
121. }
122. // Der Druckprozess
123. private function doPrint(myFlexPrintJobScaleType:String):void
124. {
125.     // Es wird eine Instanz der FlexPrintJob-Klasse erstellt.
126.     var myPrintJob:FlexPrintJob = new FlexPrintJob();
127.
128.     // Der Druckauftrag startet.
129.     if (myPrintJob.start())
130.     {
131.         try
132.         {
133.             // Ein vorgefertigtes Panel wird zum Drucken hinzugefügt.
134.             myPrintJob.addObject(Box, myFlexPrintJobScaleType);
135.
136.             // Der Zoom-Slider wird im Druck sichtbar.
137.             myMap.zoomSliderVisible = true;
138.         }
139.         catch (error:Error)
140.         {
141.             Alert.show(error.toString());
142.         }
143.         // Der Druckauftrag wird zum Drucker gesendet.
144.         myPrintJob.send();
145.     }
146. }
147. //Navigation-Werkzeuge
148. private function itemClickHandler(event:ItemClickEvent):void
149. {
150.     switch (event.label)
151.     {
152.         // Zoom-In
153.         case "Zoom In":
154.         {
155.             navTool.activate(NavigationTool.ZOOM_IN);
156.             break;
157.         }
158.         // Zoom-Out
159.         case "Zoom Out":
160.         {
161.             navTool.activate(NavigationTool.ZOOM_OUT);
162.             break;
163.         }
164.         // Pan-Funktion
165.         case "Pan":
```

```
166.     {
167.         navTool.activate(NavigationTool.PAN);
168.         break;
169.     }
170. }
171. }
172. ]]>
173.</mx:Script>
174.<!-- Navigations-Werkzeuge werden an die Karte angepasst -->
175.<esri:NavigationTool id="navTool" map="{myMap}" />
176.<!-- Die eigentliche Karte -->
177.<mx:VBox id="Box" width="100%" height="100%" background-
    Color="#ADADB2" paddingTop="5" paddingBottom="5"
178.    paddingLeft="5" paddingRight="5" cornerRadius="5">
179.    <esri:Map id="myMap" logoVisible="false">
180.        <!-- Der Extent wird für die entsprechende Abbildung definiert
    -->
181.        <esri:extent>
182.            <esri:Extent xmin="-19844102" ymin="-10535865" xmax="19844064"
    ymax="10535847">
183.                <esri:SpatialReference wkid="54009" />
184.            </esri:Extent>
185.        </esri:extent>
186.        <!-- Der Zoom-Balken wird entsprechenden Maßstäben zugeordnet -
    -->
187.        <esri:lods>
188.            <esri:LOD resolution="31750" scale="120000000" />
189.            <esri:LOD resolution="23813" scale="90000000" />
190.            <esri:LOD resolution="18521" scale="70000000" />
191.            <esri:LOD resolution="13229" scale="50000000" />
192.            <esri:LOD resolution="10583" scale="40000000" />
193.            <esri:LOD resolution="7937" scale="30000000" />
194.        </esri:lods>
195.        <!-- Die Hauptkarte wird vom ArcGIS-Server geladen -->
196.        <esri:ArcGISDynamicMapServiceLayer id="Map" visible="true"
    url="http://user1:8399/arcgis/rest/services/Mollweide/MapServer" />
197.        <!-- Die Diversen-Layer werden vom ArcGIS-Server geladen -->
198.        <esri:ArcGISDynamicMapServiceLayer id="DivLayer" visible="true"
    url="http://user1:8399/arcgis/rest/services/1_Div_Layer/MapServer"
    load="DivLayer.defaultVisibleLayers(); showDragWindowLay();" al-
    pha="0.7" />
199.    </esri:Map>
200.</mx:VBox>
201.<!-- Hauptbanner -->
202.<samples:Banner_links left="80" top="10" />
203.<!-- Der Navigations-Container mit den einzelnen Buttons -->
204.<mx:Canvas id="Navigation" styleName="BannerCanvas" right="10"
    top="30">
205.    <mx:VBox horizontalAlign="center" width="100%" horizontalGap="0"
    verticalAlign="middle" paddingTop="5">
206.        <mx:ControlBar horizontalAlign="center" verticalAlign="middle">
207.            <mx:VBox>
208.                <mx:HRule styleName="BannerRule" width="28" />
209.                <mx:ToggleButtonBar id="tbb" buttonMode="true" button-
    Width="28" buttonHeight="26" alpha="0.8"
210.                    direction="vertical"
211.                    itemClick="itemClickHandler(event)" selectedIndex="2"
    toggleOnClick="true">
212.                    <mx:dataProvider>
```

```
213.     <mx:Array id="arr">
214.         <mx:Object label="Zoom In"
            icon="@Embed('assets/zoom_in_20.png')" tooltip="Zoom In"/>
215.         <mx:Object label="Zoom Out"
            icon="@Embed('assets/zoom_out_20.png')" tooltip="Zoom Out"/>
216.         <mx:Object label="Pan" icon="@Embed('assets/pan_20.png')"
            tooltip="Pan"/>
217.     </mx:Array>
218. </mx:dataProvider>
219. </mx:ToggleButtonBar>
220. <mx:HRule styleName="BannerRule" width="28"/>
221. <mx:Button click="navTool.zoomToFullExtent()"
            icon="@Embed('assets/zoom_extent_20.png')" tooltip="Full Extent"
222.             width="28" height="26" alpha="0.8"/>
223. <mx:HRule styleName="BannerRule" width="28"/>
224. <mx:Spacer width="5"/>
225. </mx:VBox>
226. </mx:ControlBar>
227. </mx:VBox>
228. </mx:Canvas>
229. <!-- Button-Container rechts -->
230. <mx:Canvas id="CanvasMenu" height="280" width="51" left="10"
            top="100"
231.             horizontalScrollPolicy="off" verticalScrollPolicy="off" styleName="BannerCanvas">
232. <mx:ControlBar horizontalAlign="center" verticalAlign="middle">
233. <!-- Die Buttons zu den TitleWindows -->
234. <mx:VBox>
235.     <mx:Spacer height="5"/>
236.     <mx:HRule styleName="BannerRule" width="28"/>
237.     <mx:Button click="navigateToURL(new URLRequest(
            request('file:///G:/Users/User%201/Adobe%20Flash%20Builder%204/Diplo
            m_Projection/bin-debug/WGS84.html'), '_self'))"
            icon="@Embed('assets/home.png')" tooltip="Startseite" width="28"
            height="26" alpha="0.8"/>
238.     <mx:HRule styleName="BannerRule" width="28"/>
239.     <mx:Button click="showDragWindowLay()"
            icon="@Embed('assets/layers_20.png')" tooltip="Zusätzliche Layer"
            width="28" height="26" alpha="0.8"/>
240.     <mx:HRule styleName="BannerRule" width="28"/>
241.     <mx:Button click="showDragWindowLeg()"
            icon="@Embed('assets/legend_20.png')" tooltip="Legende" width="28"
            height="26" alpha="0.8"/>
242.     <mx:HRule styleName="BannerRule" width="28"/>
243.     <mx:Button click="doPrint(FlexPrintJobScaleType.SHOW_ALL)"
            icon="@Embed('assets/print_20.png')" tooltip="Drucken" width="28"
            height="26" alpha="0.8"/>
244.     <mx:HRule styleName="BannerRule" width="28"/>
245.     <mx:Button id="BtnInfo" click="showDragWindowInf()"
            icon="@Embed('assets/info_20.png')" tooltip="Informationen"
            width="28" height="26" alpha="0.8"/>
246.     <mx:HRule styleName="BannerRule" width="28"/>
247.     <mx:Button click="openAbout();"
            icon="@Embed('assets/about_20.png')" tooltip="Über" width="28"
            height="26" alpha="0.8"/>
248.     <mx:HRule styleName="BannerRule" width="28"/>
249.     <mx:Spacer height="5"/>
250. </mx:VBox>
251. </mx:ControlBar>
```

```
252.</mx:Canvas>
253.<!-- Kartentitel-Banner -->
254.<mx:Canvas id="titleCanvas" left="500" top="10" height="51" styleName="BannerCanvas">
255.  <mx:HBox height="100%" width="100%" horizontalAlign="center"
    verticalAlign="middle" paddingLeft="5" paddingRight="5">
256.    <mx:Spacer width="5"/>
257.    <mx:VRule styleName="BannerRule" height="25"/>
258.    <mx:Label styleName="BannerTitle" text="Mollweide-Abbildung"/>
259.    <mx:VRule styleName="BannerRule" height="25"/>
260.    <mx:Spacer width="5"/>
261.  </mx:HBox>
262.</mx:Canvas>
263.<!-- Copyright -->
264.<mx:Label styleName="Copyright" text="© 2011 Christoph
    Haselberger, Universität Wien" left="5" bottom="5" id="LabCopy"/>
265.</mx:Application>
```

## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name Christoph Haselberger  
 Adresse: Zimmermannplatz 4/23, 1090 Wien  
 Telefon: +43 650 6445926  
 e-mail-Adresse: christoph.haselberger@gmx.at  
 Nationalität: Österreich  
 Geburtsdaten: 28. September 1984, Melk

### Schulische Ausbildung/Studium

2005 – 2011 Studium „Kartographie und Geoinformationen“ am Institut für „Geographie und Regionalforschung“ der Universität Wien  
 Juni 2003 Reifeprüfung  
 1995 – 2003 Bundesrealgymnasium Wieselburg

### Berufliche Erfahrungen

Oktober 2010 - Praktikum bei NAVTEQ, Wien  
 Jänner 2009 - freier Mitarbeiter der Wirtschaftskammer, WIFI Netzwerk Wien  
 September 2010 geringfügige Beschäftigung bei Müller HandelsgmbH, Wien  
 September 2009 Praktikum bei Schubert & Franzke, St. Pölten  
 April 2009 freier Mitarbeiter Verlag Ed. Hölzl  
 Juli – August 2008 Ferialpraktikum Doka Schalungstechnik, St. Martin  
 Jänner – Juni 2008 geringfügige Beschäftigung bei XXXLutz, Marbach  
 August 2007 Ferialpraktikum Vetropack, Pöchlarn  
 Juli – August 2006 Ferialpraktikum Stora Enso, Ybbs  
 Dezember 2005 – 2009 Tätigkeit als Christbaumverkäufer, Kummer Toni  
 Juli – August 2005 Ferialpraktikum im Hartsteinwerk Loja, Gottsdorf  
 2003 – 2004 Präsenzdienst in der Kaserne Mautern als Pionier und Kraftfahrer

### Sprachkenntnisse

Englisch in Wort und Schrift  
 Französisch Grundkenntnisse

### EDV-Kenntnisse

Betriebssysteme: Windows 7 Enterprise, Mac OS  
 Software: Microsoft Office, Adobe CS3 Paket, Flashbuilder (Flex), Premiere Pro, Maxon Cinema 4D, e-on Software Vue 7 xStream, ESRI ArcInfo, ArcGIS Server, MS MapPoint, Manifold System  
 Kenntnisse in Programmiersprachen: ActionScript, VBA, Python  
 Datenbankkenntnisse: SQL, MS Access

Ich versichere:

- dass ich die Diplomarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
- dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/ einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.
- dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Datum

Unterschrift