

utb.

Peter Kohlstock

# Kartographie

4. Auflage



### **Eine Arbeitsgemeinschaft der Verlage**

W. Bertelsmann Verlag • Bielefeld  
Böhlau Verlag • Wien • Köln • Weimar  
Verlag Barbara Budrich • Opladen • Toronto  
facultas • Wien  
Wilhelm Fink • Paderborn  
A. Francke Verlag • Tübingen  
Haupt Verlag • Bern  
Verlag Julius Klinkhardt • Bad Heilbrunn  
Mohr Siebeck • Tübingen  
Ernst Reinhardt Verlag • München  
Ferdinand Schöningh • Paderborn  
Eugen Ulmer Verlag • Stuttgart  
UVK Verlagsgesellschaft • Konstanz, mit UVK/Lucius • München  
Vandenhoeck & Ruprecht • Göttingen  
Waxmann • Münster • New York



PETER KOHLSTOCK

# **Kartographie**

Eine Einführung

4., überarbeitete und aktualisierte Auflage

Ferdinand Schöningh

*Der Autor:*

Prof. Dr.-Ing. Peter Kohlstock studierte *Kartographie* an der TFH Berlin und *Geodäsie* an der Technischen Universität Berlin. Nach Tätigkeiten als Mitarbeiter zweier Luftbildfirmen und Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Photogrammetrie und Kartographie der TU Berlin lehrte er von 1973 bis 2007 *Kartographie, Photogrammetrie und Topographische Vermessung* an verschiedenen Hochschulen, zuletzt im Studiengang Geomatik der HafenCity Universität Hamburg HCU.

E-Mail: peter.kohlstock@hcu-hamburg.de

*Umschlagabbildung:*

Vladimir Matvienko/123rf.com

Online-Angebote oder elektronische Ausgaben sind erhältlich unter **www.utb-shop.de**

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Gedruckt auf umweltfreundlichem, chlorfrei gebleichtem Papier © ISO 9706

4., überarbeitete und aktualisierte Auflage 2018

© 2004 Ferdinand Schöningh, ein Imprint der Brill-Gruppe  
(Koninklijke Brill NV, Leiden, Niederlande; Brill USA Inc., Boston MA, USA;  
Brill Asia Pte Ltd, Singapore; Brill Deutschland GmbH, Paderborn, Deutschland)  
Internet: [www.schoeningh.de](http://www.schoeningh.de)

Das Werk, einschließlich aller seiner Teile, ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Herstellung: Brill Deutschland GmbH, Paderborn  
Einbandgestaltung: Atelier Reichert, Stuttgart

UTB-Band-Nr.: 2568  
E-Book ISBN 978-3-8385-4919-4  
ISBN der Printausgabe 978-3-8252-4919-9

# Inhalt

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| <b>Vorwort</b> .....                               | 9  |
| <b>1. Einleitung</b> .....                         | 11 |
| 1.1 Kartographie, Geodäsie und Geographie .....    | 11 |
| 1.2 Zur Entwicklung der Landesaufnahme .....       | 12 |
| 1.3 Karten – Merkmale und Einteilung .....         | 15 |
| 1.4 Geoinformationssysteme .....                   | 17 |
| <b>2. Die Abbildung der Erde</b> .....             | 19 |
| 2.1 Geodätische Grundlagen .....                   | 19 |
| 2.1.1 Die Figur der Erde .....                     | 20 |
| 2.1.2 Koordinatensysteme .....                     | 22 |
| 2.1.3 Lagebezugssysteme .....                      | 23 |
| 2.1.4 Höhenbezugssysteme .....                     | 26 |
| 2.1.5 Satelliten-Positionierungssysteme .....      | 28 |
| 2.1.6 Ein integriertes Bezugssystem .....          | 30 |
| 2.2 Geodätische Abbildungen .....                  | 32 |
| 2.2.1 Geodätische Koordinaten .....                | 32 |
| 2.2.2 Das Gauß-Krüger-Meridianstreifensystem ..... | 33 |
| 2.2.3 Das UTM-System .....                         | 35 |
| 2.2.4 Koordinatentransformationen .....            | 36 |
| 2.3 Kartographische Abbildungen .....              | 37 |
| 2.3.1 Abbildungseigenschaften .....                | 38 |
| 2.3.2 Konische Abbildungen .....                   | 39 |
| 2.3.3 Zylinderabbildungen .....                    | 41 |
| 2.3.4 Azimutalabbildungen .....                    | 42 |
| 2.3.5 Nichtkegelige Abbildungen .....              | 45 |
| <b>3. Topographische Landesaufnahme</b> .....      | 47 |
| 3.1 Aufnahmeobjekte .....                          | 47 |
| 3.1.1 Situation .....                              | 48 |
| 3.1.2 Höhen und Geländeformen .....                | 48 |
| 3.2 Tachymetrische Aufnahmeverfahren .....         | 49 |
| 3.2.1 Polarverfahren .....                         | 50 |
| 3.2.2 Satellitengestütztes Verfahren .....         | 53 |
| 3.2.3 Geländeaufnahme .....                        | 53 |
| 3.3 Luftbildmessung .....                          | 54 |
| 3.3.1 Luftbildaufnahme .....                       | 54 |

|           |                                                                              |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.3.2     | Luftbildauswertung .....                                                     | 59         |
| 3.4       | Aufnahme durch Aero-Laserscanning .....                                      | 63         |
| 3.5       | Aufnahme mit optischen Scannern .....                                        | 65         |
| 3.6       | Radarverfahren .....                                                         | 68         |
| 3.6.1     | Radar-Aufnahme .....                                                         | 68         |
| 3.6.2     | Höhenaufnahme durch Radar-Interferometrie .....                              | 70         |
| <b>4.</b> | <b>Topographische Karten .....</b>                                           | <b>73</b>  |
| 4.1       | Gliederung topographischer Karten .....                                      | 73         |
| 4.2       | Kartographische Darstellungsmittel .....                                     | 74         |
| 4.3       | Generalisierung .....                                                        | 75         |
| 4.4       | Situationsdarstellung .....                                                  | 79         |
| 4.4.1     | Siedlungen .....                                                             | 79         |
| 4.4.2     | Verkehrswege .....                                                           | 82         |
| 4.4.3     | Gewässer .....                                                               | 83         |
| 4.4.4     | Topographische Einzelobjekte .....                                           | 84         |
| 4.4.5     | Vegetation .....                                                             | 84         |
| 4.5       | Darstellung der Höhen und Geländeformen .....                                | 85         |
| 4.5.1     | Höhenlinien .....                                                            | 88         |
| 4.5.2     | Schattenplastik .....                                                        | 92         |
| 4.5.3     | Farbige Höhenschichten .....                                                 | 94         |
| 4.5.4     | Höhenpunkte und besondere Geländeformen .....                                | 96         |
| 4.6       | Kartenbeschriftung .....                                                     | 97         |
| 4.7       | Äußere Kartenelemente .....                                                  | 98         |
| 4.8       | Digitale topographische Modelle .....                                        | 100        |
| 4.8.1     | Digitale Situationsmodelle .....                                             | 101        |
| 4.8.2     | Digitale Geländemodelle .....                                                | 102        |
| 4.8.3     | 3D-Stadtmodelle .....                                                        | 105        |
| 4.8.4     | Amtliches topographisch-kartographisches<br>Informationssystem (ATKIS) ..... | 108        |
| 4.9       | Topographische Kartenwerke .....                                             | 112        |
| <b>5.</b> | <b>Bildkarten .....</b>                                                      | <b>123</b> |
| 5.1       | Bilderzeugung .....                                                          | 124        |
| 5.2       | Bildeigenschaften .....                                                      | 126        |
| 5.2.1     | Geometrische Bildeigenschaften .....                                         | 127        |
| 5.2.2     | Radiometrische Bildeigenschaften .....                                       | 127        |
| 5.3       | Herstellung von Bildkarten .....                                             | 129        |
| 5.3.1     | Luftbildkarten .....                                                         | 130        |
| 5.3.2     | Satelliten-Bildkarten .....                                                  | 132        |
| 5.3.3     | Radar-Bildkarten .....                                                       | 138        |
| 5.4       | Bildkartenwerke .....                                                        | 140        |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| <b>6. Thematische Karten</b>               | 143 |
| 6.1 Zur Gliederung thematischer Karten     | 143 |
| 6.2 Kartengrundlagen                       | 145 |
| 6.2.1 Quellenmaterial                      | 145 |
| 6.2.2 Kartenmaßstab und Art der Abbildung  | 146 |
| 6.2.3 Topographischer Karteninhalt         | 148 |
| 6.2.4 Äußere Kartenelemente                | 148 |
| 6.3 Graphische Gestaltung                  | 149 |
| 6.3.1 Darstellungsmittel                   | 149 |
| 6.3.2 Darstellung lokaler Objekte          | 151 |
| 6.3.3 Darstellung linearer Objekte         | 154 |
| 6.3.4 Darstellung flächenhafter Objekte    | 155 |
| 6.4 Thematische Karten und Kartenwerke     | 158 |
| 6.4.1 Orientierungskarten                  | 158 |
| 6.4.2 Liegenschaftskarten                  | 163 |
| 6.4.3 Bodenkarten                          | 165 |
| 6.4.4 Seekarten                            | 166 |
| <b>7. Atlanten und Internet-Karten</b>     | 177 |
| 7.1 Atlanten                               | 177 |
| 7.1.1 Einteilung von Atlanten              | 177 |
| 7.1.2 Digitale Atlanten                    | 179 |
| 7.2 Internet-Karten                        | 181 |
| 7.2.1 Allgemeine Merkmale                  | 182 |
| 7.2.2 ‚OpenStreetMap OSM‘                  | 184 |
| 7.2.3 ‚Google Earth‘                       | 185 |
| <b>8. Kartenherstellung</b>                | 187 |
| 8.1 Graphische Datenausgabe                | 187 |
| 8.1.1 Bild- und Zeichnungsträger           | 188 |
| 8.1.2 Kartier- und Zeichentechnik          | 188 |
| 8.1.3 Digitalisierung graphischer Daten    | 189 |
| 8.1.4 Digital-Analog-Wandlung              | 191 |
| 8.1.5 Geräte für die graphische Wiedergabe | 192 |
| 8.2 Vervielfältigungsverfahren             | 194 |
| 8.2.1 Rastertechnik                        | 194 |
| 8.2.2 Kopierverfahren                      | 195 |
| 8.2.3 Druckverfahren                       | 196 |
| 8.3 Herstellungsverfahren                  | 198 |
| 8.3.1 Konventionelle Kartenherstellung     | 198 |
| 8.3.2 Desktop-Mapping                      | 200 |
| 8.3.3 Web-Mapping                          | 201 |

|                                                       |         |
|-------------------------------------------------------|---------|
| <b>9. Kartennutzung</b> .....                         | 203     |
| 9.1 Richtigkeit und Vollständigkeit einer Karte ..... | 204     |
| 9.1.1 Detailwiedergabe und Aktualität .....           | 204     |
| 9.1.2 Genauigkeit der Situationsdarstellung .....     | 205     |
| 9.1.3 Genauigkeit der Höhendarstellung .....          | 207     |
| 9.2 Visuelle Kartenauswertung .....                   | 209     |
| 9.2.1 Kartenlesen .....                               | 209     |
| 9.2.2 Karteninterpretation .....                      | 211     |
| 9.3 Geometrische Kartenauswertung .....               | 213     |
| 9.3.1 Der Kartenmaßstab .....                         | 213     |
| 9.3.2 Koordinatenermittlung .....                     | 214     |
| 9.3.3 Ermittlung von Entfernungen .....               | 216     |
| 9.3.4 Flächenermittlung .....                         | 218     |
| 9.3.5 Ermittlung und Übertragung von Winkeln .....    | 221     |
| 9.3.6 Höhen- und Neigungsbestimmung .....             | 223     |
| 9.4 Beschaffung von Karten und Bildmaterial .....     | 225     |
| 9.4.1 Bezugsquellen .....                             | 225     |
| 9.4.2 ‚Elektronische Karte‘ oder ‚Papierkarte‘? ..... | 226     |
| 9.5 Urheberrechtliche Aspekte der Kartennutzung ..... | 227     |
| <br><b>Literaturverzeichnis</b> .....                 | <br>229 |
| <b>Sachregister</b> .....                             | 235     |
| <b>Dank</b> .....                                     | 243     |

# Vorwort

„Landkarten“ sind aus unserem täglichen Leben nicht wegzudenken, sei es in gedruckter Form oder auf dem Bildschirm eines PC, Tablet oder Smartphone. Bereits im Geographieunterricht vermitteln sie uns ein ‚Bild‘ der Erde und als Stadtplan, Straßenkarte, Bestandteil eines Navigationsgerätes oder Wanderkarte ermöglichen sie die Orientierung in einer fremden Umgebung. Für Bildung, Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung sind sie unverzichtbare Informationsquelle und zugleich einzige Möglichkeit, im Zusammenhang mit der Erdoberfläche stehende Sachverhalte übersichtlich und anschaulich darzustellen.

Der sachverständige Umgang mit Karten, d.h. ihre über die Orientierung hinausgehende Nutzbarmachung, setzt Kenntnisse über ihre Entstehung, inhaltliche Gestaltung sowie über Möglichkeiten und Grenzen der Informationsentnahme voraus. Hierbei geht es nicht um Spezialwissen, sondern um Orientierungswissen als Basis für eine optimale und sachgerechte Nutzung.

Wenn auch der größte Teil der herausgegebenen Karten thematischen Inhalts ist, so sind hierfür, wie auch für die zunehmend in der Praxis verwendeten Geoinformationssysteme, die Daten einer topographischen Landesaufnahme und die hieraus abgeleiteten topographischen Karten sowie Bildkarten unabdingbare Voraussetzung. Daher bilden Verfahren und Methoden von der Erfassung der Erdoberfläche bis zur kartographischen Präsentation einen wesentlichen Teil der folgenden Ausführungen.

Das vorliegende Buch ist besonders für diejenigen geeignet, für welche Karten sowohl Informationsquelle als auch Arbeitsmittel darstellen, also Studierende und Praktiker der Geowissenschaften, Raumplanung u.a., aber auch für die Studierenden der Kartographie und des Vermessungswesens, denen der Einstieg in ein komplexes Fachgebiet und die Verknüpfung mit ihrer Fachdisziplin erleichtert werden soll.

Als einführendes Lehrbuch unterliegt es im Gegensatz zu einem Handbuch, also einem Nachschlagewerk, der Forderung nach inhaltlicher Beschränkung auf das Wesentliche, insbesondere durch Weglassen von Einzelheiten, welche für ein Verständnis der Grundlagen nicht zwingend erforderlich sind, in der Unterrichtswissenschaft als *didaktische Reduktion* bezeichnet. So wird etwa auf die Darstellung komplexer mathematischer Zusammenhänge weitgehend verzichtet, ebenso wie auf eine detaillierte Beschreibung EDV-technischer Prozesse sowie der Nutzung des Internets, zumal letztere ohnehin permanenten Änderungen unterworfen sind. Das Buch beschränkt sich daher vor allem auf das Basiswissen, welches zwar ein Grundverständnis, jedoch keine Lösungskompetenz in Detailfragen ermöglicht. Diese kann nur durch vertiefende Beschäftigung unter Zuhilfenahme entsprechender Literatur bzw. Studien erlangt werden.

Der Stand einer Wissenschaft kann niemals isoliert betrachtet werden. Daher sollte sich auch die Einführung in ein Fachgebiet nicht auf die Darstellung der

jüngsten Verfahren und Methoden beschränken, sondern da, wo es geboten erscheint, kurz auf die historische Entwicklung eingehen und damit zu einem weitergehenden Verständnis beitragen. Wiederholungen von Einzelheiten in verschiedenen Zusammenhängen helfen wiederum den Lernerfolg zu vertiefen.

Die technische Entwicklung, insbesondere bedingt durch den zunehmenden Ersatz analoger durch digitale Prozesse, hat für die vierte Auflage eine weitergehendere Anpassung des Inhalts als bisher erforderlich gemacht. Da die thematischen Karten für viele Geowissenschaften im Mittelpunkt des Interesses stehen, wurde dieser Abschnitt ebenfalls ausführlicher überarbeitet. Erweitert wurde auch die Anzahl der Kartenbeispiele. Diese sollen sowohl das Spektrum der verschiedenen Kartenarten repräsentieren, als auch einen Vergleich der unterschiedlichen Darstellungsformen ermöglichen. Alles zusammen hat zu einigen Umstellungen im Aufbau gegenüber den bisherigen Auflagen geführt, ohne allerdings den Charakter und den Umfang eines einführenden Lehrbuches zu verändern.

In den letzten Jahren ist das Interesse an aktuellen Geodaten und deren Verfügbarkeit zunehmend gewachsen, einerseits bedingt durch den technischen ‚Fortschritt‘, welcher das Vorhandensein dieser Daten voraussetzt, andererseits aber auch durch die wachsenden Belastungen und Gefährdungen für die Umwelt, nicht zuletzt eine Folge eines nahezu ungebremsten Wachstums. Deren Ausmaß wird häufig nur durch Darstellungen in Bild- und Themakarten deutlich. Möge das vorliegende Buch dazu beitragen, die Möglichkeiten und Grenzen kartographischer Präsentationen einzuschätzen, kritisch zu bewerten und diese zugleich sachverständig zu nutzen.

Hamburg, im September 2017

Peter Kohlstock

# 1. Einleitung

## 1.1 Kartographie, Geodäsie und Geographie

Die ‚Aufnahme‘ und ‚Speicherung‘ von Bildern der Umwelt durch unsere Sinnesorgane ist ein für uns alltäglicher und vertrauter Vorgang, ohne den eine Orientierung nicht möglich wäre. Fast ebenso vertraut ist vielen Menschen, für diese Aufgabe ggf. auch Hilfsmittel in Form künstlicher Bilder heranzuziehen, wie z.B. Stadtpläne, Straßenkarten und Wanderkarten. Berichte über politische und kulturelle Ereignisse, Naturkatastrophen, Reisebeschreibungen, Wetterprognosen u.ä. werden mit Hilfe von ‚Landkarten‘ vorstellbar und lokalisierbar und Planungen, die in Zusammenhang mit der Erdoberfläche stehen, sind ohne Karten nicht denkbar. Deren Existenz setzt zweierlei voraus:

- Eine Erfassung und Vermessung der Erdoberfläche mit ihren wesentlichen natürlichen und künstlichen Objekten und Erscheinungsformen, d.h. die Durchführung einer *Landesaufnahme*, und
- eine für die Nutzung besonders geeignete Form der Präsentation der Aufnahmeergebnisse, d.h. eine entsprechende Bearbeitung durch die *Kartographie*.

Landesaufnahme und Kartographie sind also eng miteinander verknüpft, was nicht zuletzt seinen Ausdruck darin findet, dass beide auch Teilgebiete der *Geodäsie* sind, nämlich desjenigen Fachgebiets, welches sich mit der *Erfassung und Vermessung sowohl der Erdfigur als auch der Erdoberfläche sowie mit deren Abbildung* befasst. Die zentrale Rolle der Landesaufnahme für die Bearbeitung und Lösung zahlreicher staatlicher und wirtschaftlicher Aufgaben dokumentiert sich insbesondere auch darin, dass ihre Durchführung in vielen Ländern als gesetzlicher Auftrag formuliert ist und für diesen Zweck behördliche Institutionen, wie z.B. Landesvermessungsämter eingerichtet wurden.

Gleichermaßen eng verbunden ist die Kartographie mit der *Geographie*, deren Aufgabe „*im Studium der räumlichen Differenzierung der Erdoberfläche und in der Erklärung des kausalen Zusammenspiels aller Erscheinungen, die das Bild der Erde formen, liegt*“ (Schneider 1974, S. 1) und für welche Karten unverzichtbar sind, einerseits als Informationsmittel, andererseits als Mittel zur anschaulichen Darstellung geowissenschaftlicher Sachverhalte. Zugleich liefern die Erkenntnisse der Geographie wichtige Impulse für die Kartographie. Trotz dieser weit reichen Überschneidungen kann die Kartographie als eigenständiges Fachgebiet angesehen werden, da die Modellierung der Erdoberfläche und die Gestaltung der vielfältigen Karten ein aufwendiger und komplizierter Prozeß ist, der eigenständige Forschungen und Entwicklungen erfordert, insbesondere auch im Hinblick auf die Nutzung elektronischer Medien.

Zu den Aufgaben des Fachgebiets Kartographie findet man in der Fachliteratur sehr unterschiedliche, z.T. sehr ausführliche Beschreibungen. Ausgehend von einer einprägsamen Definition dessen, was man unter einer ‚Landkarte‘ versteht, könnte man wie folgt formulieren:

Eine Karte ist ein *verkleinertes, vereinfachtes und verebnetes Abbild der Erdoberfläche, ggf. einschließlich mit ihr in Verbindung stehender Sachverhalte*, und die *Kartographie* ist das Fachgebiet, welches sich mit der Herstellung derartiger Abbilder befasst.

## 1.2 Zur Entwicklung der Landesaufnahme

Das Bedürfnis der Menschen nach Erkundung und Darstellung ihrer Umwelt ist wohl so alt wie die Menschheit selbst, sei es aus Neugier oder aus der Notwendigkeit, sich in einer unbekannten Welt zurechtzufinden. So ist eine Darstellung des nördlichen Mesopotamien auf einer Tontafel fast sechstausend Jahre alt. Der *Stadtplan von Nippur*, vor nahezu 3500 Jahren ebenfalls auf einer Tontafel angelegt, diente sicherlich der Orientierung, aber wohl auch bereits planerischen Zwecken. Kartographische Darstellungen des Mittelalters und vom Beginn der Neuzeit zeugen nicht nur vom Bestreben der Menschen, die Welt zu erkunden, sondern auch von der Ausdehnung ihrer Machtansprüche und von wirtschaftlichen Interessen (vgl. Bialas 1982 u. Sammet 1990).



**Abb. 1.1.1:** Stadtplan von Nippur auf einer Tontafel

Die Erkenntnis, dass Karten unabdingbare Voraussetzung für vielerlei wirtschaftliche und vor allem auch militärische Bedürfnisse eines Staates sind, führte bereits im 18. Jahrhundert zu einer Systematisierung der topographischen Landesaufnahme. Beispielhaft hierfür ist die *Kurhannoversche Landesaufnahme* von 1764 bis 1786, die zu 165 Kartenblättern im Maßstab von etwa 1:21000 führte (Abb. 1.1.2). Die Aufnahme erfolgte mit dem Messtischverfahren durch das zwanzig Mann

umfassende ‚Ingenieurkorps‘ der Hannoverschen Armee und hatte ihren Ursprung in der Herstellung von Planungsunterlagen für den Bau eines Kanals von Osterholtz-Scharmbeck nach Bremervörde. Die Karten enthielten neben Siedlungen, Verkehrswegen, Gewässern und der Vegetation auch eine Höhendarstellung durch eine anschaulich-plastische Schummerung. Letztere beruhte allerdings nicht auf einer exakten Höhenaufnahme, sondern wurde im ‚Anblick des Geländes‘ entworfen. Eine systematische Höhenaufnahme und ihre Darstellung durch Höhenlinien erfolgte mit der 1821 in Preußen begonnenen Herstellung des *Messtischblattes 1:25000* (vgl. Krauß u. Harbeck 1985). Sie ist auch heute noch in zahlreichen Blättern der *Topographischen Karte 1:25000* (TK 25) zu finden, nicht zuletzt ein Beweis für die sorgfältige und präzise Arbeit der damaligen Topographen.



**Abb. 1.1.2:** Karte der Kurhannoverschen Landesaufnahme von 1764 bis 1788 (Originalmaßstab ca. 1:21.000)

Landesaufnahme und Kartenherstellung waren eng verknüpft mit der Entwicklung vermessungstechnischer Methoden und Instrumente sowie reproduktionstechnischer Verfahren. Die Aufnahme mit Messtisch und Kippregel, bei der Situation und Höhen unmittelbar im Gelände kartiert wurden, wurde infolge der technischen Entwicklung zunehmend durch die zahlentachymetrische Methode ersetzt, welche eine Beschleunigung der Geländearbeit durch Trennung von Aufnahme und Auswertung zur Folge hatte. Mit der Erfindung der Photographie im Jahre 1839 war es erstmals möglich, Objekte zu erfassen und auszumessen, ohne diese betreten oder berüh-

ren zu müssen, eine Methode, von der man alsbald mit Hilfe spezieller Photoapparate auch für topographische Geländeaufnahmen Gebrauch machte. Aber erst durch die Möglichkeit systematischer photographischer Aufnahmen von Flugzeugen aus mit großformatigen Luftbildkameras sowie der Konstruktion von Auswertgeräten, die eine räumliche Rekonstruktion des aufgenommenen Geländes ermöglichten, konnte im Laufe des 20. Jh. die terrestrisch-topographische Vermessung zunehmend durch die Luftbildmessung ersetzt werden. Diese ist heute das wichtigste Verfahren für die Landesaufnahme.

Trotz des instrumentellen Fortschritts, insbesondere infolge der zunehmenden Elektronisierung und damit der Automatisierung von Arbeitsprozessen, beträgt der Zeitraum von der Aufnahme bis zur endgültigen reproduzierbaren Karte mehrere Monate. Dies bedeutet nicht nur, dass in zahlreichen Ländern der Erde ein Mangel an Karten besteht, sondern auch dass die bestehenden Karten häufig veraltet sind. Nach einer vom *United Nations Global Geospatial Information Management* (UNGGIM) zwischen 2012 und 2015 vorgenommenen Untersuchung waren nur 30% der Landmassen im Maßstabsbereich 1:25.000 und 75% im Maßstabsbereich 1:50.000 erfasst, wobei die Aktualisierung der meisten Karten jedoch zwischen 10 und 30 Jahren zurücklag (vgl. *Konecny u.a.* 2016). Allerdings ist selbst in der Bundesrepublik mit ihrem vergleichsweise hohen technischen Standard die Aktualisierung von Karten nur etwa alle fünf Jahre möglich.

Die Entwicklung der Raumfahrttechnik ermöglicht heute eine Aufnahme der Erdoberfläche aus sehr viel größerer Höhe von Satelliten aus, wodurch große Flächen in relativ kurzen Zeitabständen erfasst werden können. Verwendet werden hierfür überwiegend Zeilenabtaster (Scanner), welche es anders als die konventionelle Photographie ermöglichen, die Bildinformation in digitalisierter Form per Funk zur Erde zu übermitteln. Das Ergebnis der Weiterverarbeitung über digitale Bildverarbeitungsprozesse sind mittel- und kleinmaßstäbige Bildkarten. Das Verfahren wird allgemein als *Fernerkundung* bezeichnet und der Begriff umschließt prinzipiell auch die Luftbildmessung. Bildkarten aus Luftbildern und Scanner-Daten können zwar konventionelle Karten nicht vollständig ersetzen, ermöglichen aber eine rasche und aktuelle Information für viele Zwecke und bilden zugleich eine wertvolle Ergänzung bestehender Karten.

Die eigentliche Kartenherstellung, d.h. die Verarbeitung der Aufnahmedaten bis zur endgültigen Präsentation als Karte, war und ist von der technischen Entwicklung gleichermaßen betroffen. Die Möglichkeit einer systematischen Vervielfältigung eröffnete sich zunächst mit der Erfindung des Kupferstichs im 15. Jh. und mit der Lithographie 1798 durch *A. Senefelder*. Bei beiden Verfahren musste das Kartenoriginal direkt auf der Druckplatte durch Gravur bzw. Tuschezeichnung erstellt werden. Entsprechend aufwendig war ihre Ergänzung und Korrektur. Einen entscheidenden Fortschritt brachte die Weiterentwicklung des durch die Lithographie bereits bekannten direkten Flachdrucks zum indirekten Flachdruck oder Offsetdruck zu Beginn des 20. Jahrhunderts, der nicht nur eine Steigerung der Druckqualität, sondern auch der Druckauflage ermöglichte. Damit einher gin-

gen Verbesserungen reproduktionstechnischer Verfahren, wie Kopie, Reproduktionsphotographie und Rastertechnik, aber auch der Zeichnungsträger, so dass eine Trennung zwischen Originalzeichnung und Druckplatte ermöglicht wurde. Schließlich wurde die lange Zeit übliche und sehr schwierige Tuschezeichnung abgelöst durch die Gravur auf maßhaltiger transparenter Zeichenfolie, mit der Folge einer weiteren Verbesserung der graphischen Qualität und einer Vereinfachung reproduktionstechnischer Prozesse.

Ebenso wie die Entwicklung der Mikroelektronik für die Landesaufnahme völlig neue instrumentelle und methodische Möglichkeiten eröffnet hat, gilt dies auch für die Kartenherstellung. Die aufwendigen Reproduktionsverfahren von der Originalherstellung bis zum vervielfältigten Exemplar wurden zunehmend durch leistungsfähige Rechner und Programme (Hard- und Software) ersetzt. Ziel ist die ‚elektronische‘ oder ‚digitale Karte‘, jederzeit aktualisierbar und verfügbar im (fast) beliebigen Maßstab.

Die Veränderungen in der Aufnahme-, Verarbeitungs- und Präsentationstechnik haben zugleich auch für die Kartennutzer/innen das Spektrum der Anwendungen erweitert. Dies gilt nicht nur hinsichtlich der topographischen Daten, sondern auch solcher Informationen, welche in unmittelbarem oder mittelbarem Zusammenhang mit der Erde stehen. Ziel ist es, alle diese Informationen in *Geoinformationssystemen* zusammenzuführen und für vielerlei Bedürfnisse verfügbar zu machen (vgl. 1.4). Neben der zumindest theoretischen Möglichkeit einer permanenten Aktualisierung aller Daten wird auch deren sehr viel flexiblere Handhabung und Kombinierbarkeit erreicht, als dies bei den ‚analogen‘ Geoinformationssystemen, und als solche kann man die bestehenden topographischen und thematischen Kartenwerke durchaus bezeichnen, je der Fall sein konnte.

## 1.3 Karten – Merkmale und Einteilung

Unabhängig von der vorstehend skizzierten Entwicklung haben zahlreiche Methoden, Begriffe und Probleme kartographischer Gestaltung nach wie vor ihre Bedeutung.

Wesentliches Merkmal einer Karte ist der Maßstab  $M$ . Dieser gibt das Verkleinerungsverhältnis zwischen *Abbild* und *Urbild* an, d.h. zwischen Kartenstrecke  $s_k$  und Naturstrecke  $s$ :

$$M = \frac{1}{m} = \frac{s_k}{s}.$$

Je größer die *Maßstabszahl*  $m$  ist, desto kleiner ist der Maßstab. Für Umrechnungen von der Kartenfläche  $F_k$  in die Naturfläche  $F$  gilt

$$F = F_k \cdot m^2.$$

Da es keine vollständig verzerrungsfreie Abbildung der Erde in die Karte gibt, gilt die Maßstabsangabe streng nur für längentreu abgebildete Linien. Bis zum Maßstab 1:1 Mill. sind die Verzerrungen jedoch i.d.R. so gering, dass sie im einzelnen Kartenblatt nicht messbar sind, so dass der Maßstab überall gilt.

Der Begriff *Karte* ist auf das Wort ‚charta‘ (lat. Brief, Urkunde) zurückzuführen und deutet darauf hin, dass Karten (urkundenähnlich) das Ergebnis einer sorgfältigen Bearbeitung von der Aufnahme bis zur Präsentation sind. Erwartet wird daher, dass eine Karte richtig, vollständig, zweckmäßig und lesbar ist.

*Richtigkeit* und *Vollständigkeit* werden zunächst von der Datenerfassung und -auswertung bei der topographischen Vermessung beeinflusst. Diese unterliegt traditionell durchgreifenden Kontrollen, so dass hier von einer geringen Fehlerquote ausgegangen werden kann. Problematisch ist allerdings, dass zwischen Aufnahme und Fertigstellung einer Karte ein längerer Zeitraum liegt und insbesondere groß- und mittelmaßstäbige Karten bei ihrer Herausgabe nicht mehr auf dem neuesten Stand sind. Dieser Zeitraum dürfte sich durch die digitale Aktualisierung und Speicherung zunehmend verkürzen. Jede Karte kann die Erdoberfläche nur modellhaft darstellen, d.h. es muss von der Aufnahme bis zur Ableitung von Folgekarten das Wesentliche vom Unwesentlichen getrennt werden, ein Vorgang, der als Generalisierung bezeichnet wird und der mit kleiner werdendem Maßstab zunehmend zum Weglassen bzw. Vereinfachen von Kartenobjekten führt.

Die *Zweckmäßigkeit* einer Karte, d.h. der mit ihr verbundene Verwendungszweck, bestimmt den Maßstab, die Abbildungsart sowie die inhaltliche und äußere Gestaltung. Eine Katasterkarte, welche Eigentumsverhältnisse dokumentiert, kann nur großmaßstäbig (z.B. 1:1000) und eine Klimakarte, welche ein großräumiges Phänomen darstellt, nur kleinmaßstäbig sein (z.B. 1:20 Mill.). Jede Abbildung führt zwar zu Verzerrungen (s.o.), jedoch lassen sich bestimmte Eigenschaften, wie Winkeltreue oder Flächentreue erzielen. So hat sich z.B. die winkeltreue Zylinderabbildung für Seekarten als besonders zweckmäßig erwiesen. Schließlich unterliegt die inhaltliche Gestaltung, wie der Grad der Generalisierung, die Hervorhebung von Objekten u.a.m., dem Kartenzweck. Ein Stadtplan, der nur der Orientierung im Stadtgebiet dient, weist gegenüber einer gleichmaßstäbigen topographischen Karte ein vereinfachtes graphisches Bild auf. Zugleich ist das Kartenformat häufig auf die Verwendung auf engem Raum ausgerichtet, z.B. durch eine besondere Faltung oder als Atlasform.

Die *Lesbarkeit* einer Karte, d.h. die Detailerkennbarkeit, die Eindeutigkeit der Darstellung sowie die Deutbarkeit der dargestellten Objekte, wird beeinflusst von der graphischen Gestaltung, d.h. der Generalisierung, der Wahl der Signaturen und der Farbgebung, sowie von der graphischen Qualität der Zeichnung, sei es als Druck oder auf einem Bildschirm. Die Lesbarkeit ist die wichtigste Eigenschaft und hat absolute Priorität gegenüber Richtigkeit und Vollständigkeit.

Die große Zahl von Karten unterschiedlicher Maßstäbe und die Vielzahl von Themen, welche in Zusammenhang mit der Erdoberfläche kartographisch darstellbar sind, erfordert eine systematische Gliederung. Nahe liegend ist zunächst

eine *Einteilung nach dem Maßstab*. Danach werden Karten mit  $M \geq 1:10.000$  als *großmaßstäbig*, Karten mit  $M < 1:10.000$  und  $M > 1:500.000$  als *mittelmaßstäbig* und Karten mit  $M \leq 1:500.000$  als *kleinmaßstäbig* bezeichnet. Kriterium hierfür ist die Darstellbarkeit der Situation, insbesondere die der Siedlungen.

Die *Einteilung nach dem Inhalt* unterscheidet zwischen topographischen und thematischen Karten. Eine *topographische Karte* stellt eine vor allem maßstabsabhängige Auswahl der natürlichen und künstlichen Objekte der Erdoberfläche dar. Eine *thematische Karte* stellt ein oder mehrere in unmittelbarem oder mittelbarem Zusammenhang mit der Erde stehende Themen dar.

Schließlich ist noch eine *Einteilung nach Entstehung und Funktion* der Karten sinnvoll. Als *Grundkarte* (Primärkarte) bezeichnet man das grundlegende topographische Kartenwerk eines Landes, aus welchem die Karten kleineren Maßstabs abgeleitet werden. Sie präsentieren die Landesaufnahme und haben i.d.R. einen Maßstab  $M \geq 1:25.000$ . In der Bundesrepublik war es die Deutsche Grundkarte 1:5000 (DGK 5), die inzwischen durch ein digitales Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM) abgelöst wurde. Eine *Folgekarte* (Sekundärkarte) ist die durch Verkleinerung und Generalisierung aus dem vorhergehenden größeren Maßstab abgeleitete Karte. Unter einem *Kartenwerk* versteht man die Gesamtheit von Kartenblättern für ein bestimmtes Gebiet, mit gleicher Gestaltung und im allgemeinen auch gleichem Maßstab. Im Unterschied hierzu ist ein *Atlas* eine Sammlung von Karten für einen bestimmten Zweck. Unter *digitaler Karte* versteht man eine durch Objektkoordinaten und codierte Objektattribute in digitaler Form gespeicherte Karte. Und schließlich ist eine *Bildkarte* das Ergebnis einer photographischen bzw. Zeilenabtaster-Aufnahme oder einer Erfassung durch ein Radarsystem.

## 1.4 Geoinformationssysteme

Der Begriff *Informationssystem* hat sich mit der Entwicklung der elektronischen Datenverarbeitung und den hieraus resultierenden Möglichkeiten zur Speicherung, Bearbeitung und Nutzung umfangreicher Datenmengen besonders in den letzten zwei Jahrzehnten im allgemeinen Sprachgebrauch etabliert. Zunächst einmal kann man hierunter eine systematische Sammlung von Informationen (Daten, Sachverhalten, Ereignissen) sowie ihre Bereitstellung für bestimmte Zwecke verstehen. In diesem Sinne ist auch ein Lehrbuch über ein Fachgebiet, ein statistisches Jahrbuch oder ein Atlas ein solches System, nur hat man diese in ihrer analogen Form, also als Text, Datensammlung oder graphische Bilder nicht so benannt. Ein *Geoinformationssystem*, als Kurzform von Geographisches Informationssystem, ist demnach eine systematische Sammlung von Daten und Sachverhalten über die Erde, d.h. die Erdoberfläche, die Erdkruste (Lithosphäre) und die Erdatmosphäre.

Die analoge Form der Speicherung und Präsentation bedeutete jedoch erhebliche Einschränkungen hinsichtlich der Datenerhebung, der Speicherkapazität,

der Aktualisierung, der Flexibilität sowie der Nutzungsmöglichkeiten. Ein entscheidender Fortschritt ergab sich erst durch die Entwicklung der EDV und Informatik und damit auch der Möglichkeit, textliche und graphische (analoge) Informationen in Zahlen umzuwandeln, d.h. zu digitalisieren. Damit könnte man wie folgt formulieren:

Ein *Geoinformationssystem* (GIS) ist ein Datenverarbeitungssystem, welches die Erde betreffende Daten (Zahlen, graphische Darstellungen, Bilder, Sachverhalte) digital erfasst, aufbereitet, verarbeitet, speichert und verwaltet sowie für unterschiedliche Aufgaben zur Verfügung stellt.

Bestandteile eines solchen Systems sind neben den Daten Rechner, Speicher, Plotter, Digitizer und Scanner (Hardware) sowie Programme für die Datenverarbeitung und -verwaltung, Datennutzung und Kommunikation mit anderen Systemen (Software).

Ein Geoinformationssystem, welches die gesamten Informationen über die Erde enthält, ist praktisch nicht möglich. Daher gibt es eine Vielzahl zweck- und aufgabenorientierter Einzelsysteme. Weitergehende Ausführungen zu Geoinformationssystemen und ihren unterschiedlichen Anwendungen findet man z.B. bei *Bartelme* (2005), *Bill* (2016), *de Lange* (2006) sowie *Heywood u.a.* (2006).

## 2. Die Abbildung der Erde

Eine Abbildung der Erde bzw. von Teilen derselben in die Ebene, also Karte, ist eine komplexe Aufgabe, deren Lösung im Wesentlichen an folgende Voraussetzungen geknüpft ist:

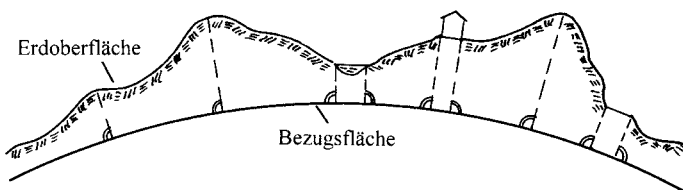
- Die Definition dessen, was wir als Erdfigur bezeichnen, und deren Bestimmung,
- die Festlegung von für eine Abbildung geeigneten Bezugs- oder Referenzsystemen als Ersatz und Basis für die eigentliche vielgestaltige Erdoberfläche sowie
- die Einrichtung von für eine Abbildung geeigneten Koordinatensystemen.

Diese Maßnahmen sind Gegenstand der Geodäsie und sollen im Folgenden kurz vorgestellt werden. Hierbei wird besonderer Wert auf eine anschauliche Darstellung gelegt, weitgehend ohne Einbeziehung mathematischer Zusammenhänge. Diese können ggf. der weiterführenden Literatur entnommen werden (z.B. *Torge* 2003, *Kahmen* 2006, *Becker u. Hehl* 2012).

### 2.1 Geodätische Grundlagen

Die Abbildung der Erdoberfläche, d.h. der in der Karte darzustellenden Objekte, erfordert prinzipiell drei Schritte:

- Erfassung (Vermessung) der Objekte,
- Abbildung der Objekte auf eine Bezugsfläche (Ersatzfläche),
- Abbildung der Bezugsfläche in die Ebene.



**Abb. 2.1.1:** Orthogonalprojektion der Erdoberfläche auf eine Bezugsfläche

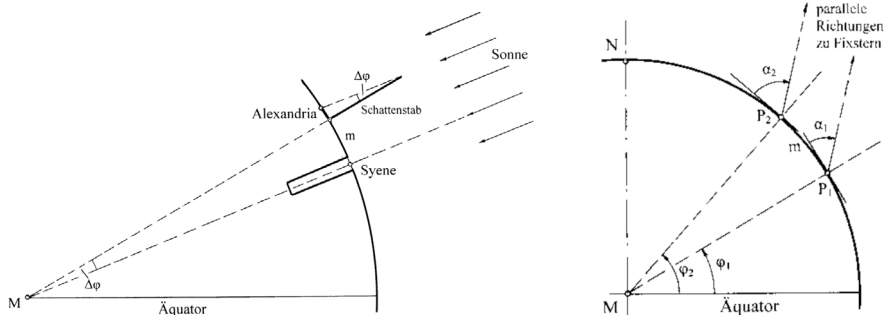
Objekterfassung und -abbildung sind Aufgabe der Landesaufnahme, d.h. der topographischen Vermessung und Datenverarbeitung (vgl. Kap. 3). Hierbei werden die Messdaten so korrigiert, als wäre die Vermessung der Objekte auf der Bezugs-

fläche und nicht auf der physischen Erdoberfläche erfolgt. Dies entspricht anschaulich einer Orthogonalprojektion der Objektgrundrisse auf die Bezugsfläche. Deren Abbildung in die Ebene setzt schließlich hinreichende Kenntnisse über ihre Geometrie, also über die ‚eigentliche‘ Erdfigur voraus.

Die Durchführung einer Landesaufnahme erfordert ein Geodätisches Bezugssystem (Referenzsystem), wobei, bedingt durch die Entwicklung von Wissenschaft und Praxis in der Geodäsie sowie durch unterschiedliche Messverfahren, zwischen Lage- und Höhenbezugssystemen unterschieden wird. Insbesondere durch die Entwicklung der Satellitenpositionierung wird in der BRD z.Z. ein integriertes Bezugssystem eingerichtet.

### 2.1.1 Die Figur der Erde

Ursprüngliche Vorstellungen der Menschen, welche die Erde zunächst als Würfel, Zylinder oder Scheibe ansahen, wurden etwa 500 Jahre vor Beginn unserer Zeitrechnung insbesondere auch aufgrund von Naturbeobachtungen von der Annahme einer Kugelgestalt abgelöst (vgl. *Jensch 1970, Bialas 1982*). Eine der ersten Umfangsbestimmungen wurde etwa 240 Jahre v.d.Z. von dem Griechen *Eratosthenes* vorgenommen (Abb. 2.1.2). Ihm war bekannt, dass sich die Sonne am 21. Juni mittags 12 Uhr in einem Brunnen spiegelte, also zum Zeitpunkt der Sommersonnenwende senkrecht über dem Ort Syene (nahe Assuan) auf dem nördlichen Wendekreis stand. Ein zum gleichen Zeitpunkt im ungefähr 900 km nördlich gelegenen Alexandria aufgestellter Schattenstab ermöglichte die Berechnung des Breitenunterschiedes  $\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1)$  mit etwa  $7,2^\circ$ . Die Entfernung  $m$  von 5000 Stadien zwischen Syene und Alexandria leitete er vermutlich aus Feldvermessungen im Niltal ab. Hieraus ergibt sich mit  $U = m \cdot 360^\circ / \Delta\varphi^\circ$  ein Kugelumfang von 250000 Stadien.

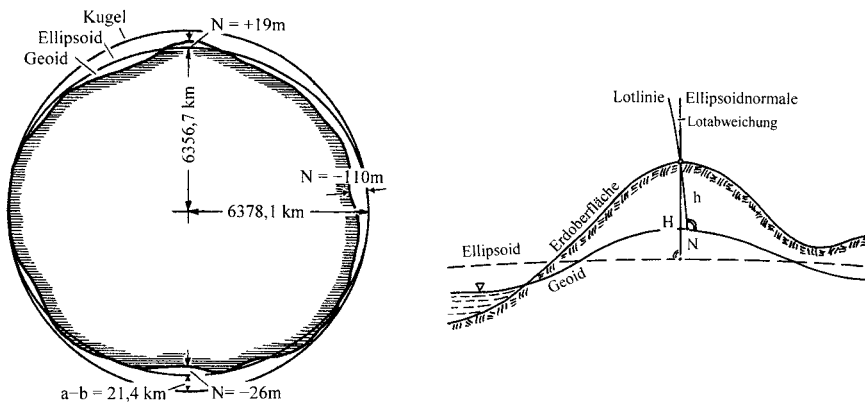


**Abb. 2.1.2:** Erdumfangbestimmung durch Eratosthenes (links) sowie Bestimmung des Breitenunterschiedes aus astronomischen Beobachtungen (rechts)

Da der Längeneinheit *Stadion* je nach Region unterschiedliche Meterangaben entsprachen, ergibt die Umrechnung Werte zwischen 37125 und 46250 km und damit Radien zwischen 5909 und 7361 km. Dies entspricht einer Abweichung zwischen  $-7,2$  und  $+15,5\%$  vom heutigen mittleren Kugelradius mit 6371 km.

Erdumfangsbestimmungen zu Beginn der Neuzeit führten schließlich mit verfeinerten Meßmethoden zu genaueren Werten (vgl. *Jensch* 1970 u. *Torge* 2003). So ermittelte der Franzose *Picard* 1670 den Breitenunterschied  $\Delta\varphi$  mit Hilfe astronomischer Beobachtungen und die Bogenlänge  $m$  indirekt über eine Triangulation und erhielt so einen Kugelumfang von 40035 km, eine Abweichung von 0,1% (Abb. 2.1.2). Zweifel an der Kugelgestalt der Erde ergaben sich im 17. Jahrhundert. 1677 beobachtete der Astronom *J.D. Cassini* beim Planeten Jupiter eine Abplattung an den Polen, also eine ellipsoidische Figur, welche damit auch für die Erde zu vermuten war. Untersuchungen zur Schwerkraft in unterschiedlichen Breiten stützten diese Annahme. Damit fand die aus der Gravitationstheorie von *I. Newton* (1643-1727) und den Gesetzen über die Zentrifugalkraft von *J. Huygens* (1629-1695) begründete Erdfigur als Rotationsellipsoid ihre Bestätigung.

Zur Bestimmung der Ellipsoid-Halbachsen  $a$  und  $b$  wurden im 18. Jahrhundert Messungen des Meridianbogens für einen Breitenunterschied von  $\Delta\varphi \approx 1^\circ$  (Gradmessungen) in Polnähe und in Äquatornähe durchgeführt. Widersprüche bei der Berechnung der Ellipsoidparameter aus unterschiedlichen Messergebnissen führten dann im 19. Jh. zu der Erkenntnis, dass die ‚eigentliche‘ Erdfigur nicht hinreichend genau einem Rotationsellipsoid entsprach. Bereits 1828 gab *C.F. Gauß* hierfür eine Erklärung: „Was wir im geometrischen Sinn Oberfläche der Erde nennen, ist nichts anderes als diejenige Fläche, welche überall die Richtung der Schwere senkrecht schneidet und von der die Oberfläche des Weltmeeres einen Theil ausmacht“ (zit. nach *Torge* 2003, S. 2).



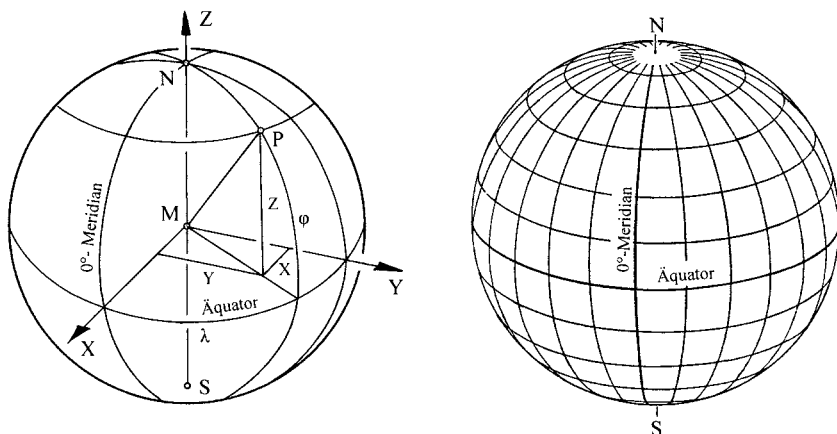
**Abb. 2.1.3:** Kugel, Ellipsoid, Geoid und ihr Zusammenhang mit der Erdoberfläche

Damit kann die Erdfigur *geometrisch* als die unter den Kontinenten fortgesetzt gedachte, ruhende („idealisierte“) Meeresoberfläche und *physikalisch* als Fläche konstanten Schwerepotentials (Äquipotentialfläche) definiert werden. Diese, 1872 von dem Physiker *J.B.Listing* als *Geoid* bezeichnete Figur, ist infolge inhomogener Massenverteilungen in der Erdkruste ungleichmäßig und weicht von einem mittleren Ellipsoid um die *Geoidhöhe* (*Geoidundulation*)  $N$  ab (Abb. 2.1.3). Der maximale Wert hierfür beträgt etwa 110 m und ist für die Abbildung der Erdoberfläche in die Ebene vollständig vernachlässigbar. Für die Höhenangaben der physischen Erdoberfläche bildet jedoch das Geoid die Bezugsfläche, da Höhenmessungen sich unmittelbar an der Richtung der Schwerkraft orientieren.

Im Gegensatz zum Geoid sind Rotationsellipsoide mathematische Regelflächen und bilden daher als bestmögliche Näherung eine geeignete Bezugsfläche für die Landesaufnahme und die aus ihren Ergebnissen abgeleiteten groß- und mittelmaßstäbigen Karten. Eine Übersicht über die in den verschiedenen Ländern gebräuchlichen Ellipsoide gibt *Graf* (1988). Für Kartenabbildungen im Maßstab  $M < 1:1$  Mill. findet eine mit dem *Ellipsoid von 1980* (vgl. 2.1.3) volumengleiche Kugel mit einem Radius von  $R = 6371$  km Anwendung als Bezugsfläche.

## 2.1.2 Koordinatensysteme

Für die Abbildung von Kugel oder Ellipsoid in die Ebene bedarf es der Einrichtung von Koordinatensystemen, welche die abzubildenden Objekte in ihrer absoluten und gegenseitigen Lage festlegen. Hierfür kommen verschiedene Systeme in Betracht.



**Abb. 2.1.4:** Geozentrische (X, Y, Z) und geographische Koordinaten ( $\phi$ ,  $\lambda$ ) (links) auf der Kugel sowie Meridiane und Parallelkreise (rechts)

*Globale geozentrische Koordinaten*  $X, Y, Z$  finden Anwendung in der Erdmessung (mathematische und physikalische Geodäsie) und sind für Abbildungszwecke ungeeignet (vgl. Torge 2003).

*Geographische Koordinaten*  $\varphi, \lambda$  sind wegen ihrer Koordinatenlinien auf der Bezugsfläche, den Parallel- oder Breitenkreisen mit  $\varphi = \text{const.}$  und den Meridianen mit  $\lambda = \text{const.}$ , sehr viel geeigneter. Neben den beiden Winkeln müssen noch der Kugelradius  $R$  oder ggf. die Ellipsoid-Halbachsen  $a$  und  $b$  bekannt sein. Die *geographische Breite*  $\varphi$  eines Punktes  $P$  ist der Winkel zwischen der Äquatorialebene und der Lotrichtung (Flächennormale) in  $P$ . Zu unterscheiden ist ausgehend vom Äquator zwischen  $0^\circ$ - $90^\circ$  nördlicher Breite (n.B.) und  $0^\circ$ - $90^\circ$  südlicher Breite (s.B.). Die *geographische Länge*  $\lambda$  ist der Winkel zwischen der Meridianebene durch Greenwich (Nullmeridian) und der Meridianebene durch  $P$ . Ausgehend vom Nullmeridian wird unterschieden zwischen  $0^\circ$ - $180^\circ$  östlicher Länge von Greenwich (ö.L.v.Gr.) und  $0^\circ$ - $180^\circ$  westlicher Länge von Greenwich (w.L.v.Gr.). Die Verwendung geographischer Koordinaten ist vor allem für Kartenabbildungen kleinen Maßstabs ( $M \leq 1:500.000$ ) üblich. Diese werden auch als *kartographische Abbildungen* bezeichnet (vgl. 2.3).

*Lokale Koordinatensysteme*, i.d.R. auf einem Ellipsoid, dienen der Abbildung kleinerer Gebiete (Region, Land) und bilden als *geodätische Abbildungen* die Grundlage der Landesaufnahme (vgl. 2.2).

Das Koordinatensystem der Bezugsfläche ist in die Ebene (Karte) abzubilden, d.h. in ein kartesisches System  $(x, y)$  oder ein Polarkoordinaten-System  $(\varepsilon, s)$  zu transformieren.

### 2.1.3 Lagebezugssysteme

Als Lagebezugssysteme wurden bereits im 19. Jahrhundert sog. *konventionelle* bzw. *lokal bestanschließende* Ellipsoide verwendet, wie z.B. das Bessel-Ellipsoid von 1841 in Deutschland. Diese bildeten nur geeignete Bezugsflächen für ein Land oder eine größere Region und ihr Mittelpunkt wich vom Zentrum der Erde (Geozentrum) erheblich ab. Erstmalig wurde das von dem Amerikaner Hayford 1909 berechnete und nach ihm benannte Ellipsoid im Jahre 1924 von der *Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik* (IUGG) als *Internationales Ellipsoid* vorgeschlagen und fand eine weite Verbreitung. Insbesondere durch die Intensivierung von Schweremessungen konnten die Ellipsoidberechnungen ständig verfeinert werden und führten schließlich unter Einbeziehung physikalischer Parameter zum ebenfalls von der IUGG empfohlenen *Geodätischen Referenzsystem 1980* (GRS 80) mit einem mittleren Ellipsoid. Dessen Parameter sind zugleich Bestandteil des *World Geodetic System 1984* (WGS 84) und des *European Terrestrial Reference System 1989* (ETRS 89). Diese bilden heute die Grundlage für die Kartenherstellung, die Positionierung und die Navigation (vgl. Torge 2003).