Wolfgang Torge

Geschichte der Geodäsie in Deutschland

Walter de Gruyter · Berlin · New York

Prof. (em.) Dr.-Ing. Wolfgang Torge
Institut für Erdmessung
Universität Hannover
Schneiderberg 50
30167 Hannover

Das Buch enthält 296 Abbildungen.

∞ Gedruckt auf säurefreiem Papier,
das die US-ANSI-Norm über Haltbarkeit erfüllt.

ISBN 978-3-11-019056-4

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.

© Copyright 2007 by Walter de Gruyter GmbH & Co. KG, D-10785 Berlin.

Dieses 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, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.
Printed in Germany.
Einbandgestaltung: Rudolf Hübler, Berlin.
Druck und buchbinderische Verarbeitung: Hubert & Co. GmbH & Co. KG, Göttingen.

Vorwort

Die Geodäsie hat in den letzten fünfzig Jahren einen radikalen Umbruch erfahren, der durch den technologischen Fortschritt ausgelöst und von ihm bestimmt wurde. Modellbildung, Datenerfassung, Datenverarbeitung und Darstellung der Ergebnisse haben sich wesentlich verändert und zu einer weitgehenden Abkehr von den klassischen Methoden des Vermessungswesens geführt. Der heutige Wandel lässt sich durchaus mit der Umbruchszeit des 17. und 18. Jahrhunderts vergleichen, in der nach einer rund 2000-jährigen Entwicklung eine „moderne“ Geodäsie entstand. Der Autor hat den gegenwärtigen Umbruch seit den 1950er Jahren miterlebt und in Praxis und Wissenschaft auch mitgestalten können. Dabei wuchs auch sein Interesse an der Geschichte der Geodäsie, das bereits durch seinen Lehrer Professor Großmann geweckt worden war; es verstärkte sich in den vergangenen zehn Jahren anlässlich zahlreicher geodätischer Jubiläen. Die vorliegende „Geschichte der Geodäsie“ soll die lange Entwicklung dieser alten Geo- und Ingenieurwissenschaft bis zu den Mitte des 20. Jahrhunderts einsetzenden Veränderungen zusammenfassen und sie in das gesellschaftliche Umfeld einbinden. Sie konzentriert sich auf die geodätischen Arbeiten und ihre Nutzungen in Deutschland, bei angemessener Berücksichtigung der von außen wirkenden Einflüsse.

Die Monographie geht dementsprechend von den im Altertum gelegten Grundlagen der Astronomie, Geographie und Feldmesskunst aus und führt dann über die Wissensbewahrung des Mittelalters zur Entstehung der ersten Landeskarten. In der Neuzeit entwickelt sich aus der Erkenntnis des heliozentrischen Weltsystems und der ellipsoidischen Erdfigur eine eigenständige Geodäsie, die neu entwickelten Messmethoden bewähren sich auch bei den nun überall in Deutschland beginnenden Landesaufnahmen. In der Napoleonischen Zeit werden dann die Weichen zu staatlich organisierten Landesvermessungen in den deutschen Ländern gestellt, wobei durchaus unterschiedliche Strategien verfolgt werden. Ein Qualitätssprung ereignet sich mit der von deutscher Seite ausgehenden internationalen Zusammenarbeit und dem Einfluss der preußischen Landesvermessung nach der Reichsgründung. Die Anforderungen aus Verwaltung, Wirtschaft und Militär zwingen jetzt zur Vereinheitlichung der geodätischen Systeme und der Ausbildung. Diese Bemühungen setzen sich nach dem ersten Weltkrieg fort und führen zu Lösungen, die bis in die Gegenwart wirken. Mit einem Überblick über den Anfang der 1950er Jahre einsetzenden politischen und technologischen Umbruch wird diese Darstellung der „klassischen“ Geodäsie in Deutschland abgeschlossen. Der Text wird durch zahlreiche Abbildungen von handelnden Personen, benutzten Instrumenten, geodätischen Netzen und darauf aufbauenden Karten illustriert, ein ausführliches Literaturverzeichnis erleichtert ein weitergehendes Studium.

Das Buch wendet sich an geschichtlich interessierte Studierende, Wissenschaftler und Praktiker des Vermessungs- und Geoinformationswesens, der Kartographie und der Geowissenschaften, aber auch an wissenschaftshistorisch Interessierte. Es soll zum Ver-

ständnis einer alten Erd- und Technikwissenschaft beitragen, die sich heute in einem grundlegenden Wandel befindet.

Der Inhalt des Buches beruht vor allem auf den intensiven Literaturrecherchen des Autors, aber auch auf seinen eigenen Arbeiten zur Entwicklung der internationalen und der nationalen Geodäsie. Er dankt den vielen Personen und Organisationen, welche Abbildungen bereitwillig und oft kostenfrei zur Verfügung gestellt haben; hierauf wird in der Abbildungsliste hingewiesen. Dankbar ist der Autor auch für viele nützliche Hinweise auf historische Fakten. Einige Netzbilder wurden am Institut für Erdmessung der Universität Hannover von Dipl.-Ing. Liliane Biskupek neu gezeichnet. Eine wesentliche Unterstützung bei der Text- und vor allem der Bildverarbeitung leistete wiederum Dipl.-Ing. Wolfgang Paech; für diese Hilfe wird gedankt. Die gute Zusammenarbeit mit dem Verlag setzte sich auch bei der Erstellung dieses Buches fort, hierfür dankt der Autor Dr. Robert Plato und den Mitarbeitern bei Walter de Gruyter. Schließlich danke ich meiner Frau Renate für Ihr Verständnis auch bei diesem Buchprojekt und die sorgfältige Korrekturlesung.

Hannover, im Februar 2007 Wolfgang Torge

Inhaltsverzeichnis

Vorwort v

1 Einführung 1
- 1.1 Zielsetzung . . . 1
- 1.2 Zu den Begriffen „Geodäsie“ und „Landesvermessung“ . . . 3
- 1.3 Grundlegende Fragestellungen der Geodäsie . . . 6

2 Schaffung der Grundlagen: Altertum 8
- 2.1 Astronomie und Feldmessung: Sumerisch-babylonischer und ägyptischer Kulturkreis . . . 8
- 2.2 Erdfigur und Geographie: Griechisch-hellenistischer Kulturkreis . . . 11
  - 2.2.1 Die Erdvermessung als wissenschaftlich-praktisches Problem: Die Anfänge . . . 11
  - 2.2.2 Von Eratosthenes bis Ptolemaios: Erste Resultate . . . 16
- 2.3 Die praktische Landvermessung im Imperium Romanum . . . 20

3 Überlieferung und Weiterentwicklung: Mittelalter und frühe Neuzeit 23
- 3.1 Christliches Weltbild und Wissensbewahrung: Früh- und Hochmittelalter . . . 23
- 3.2 Von der Gelehrtenkartographie zu ersten Landeskarten: Spätmittelalter und frühe Neuzeit . . . 26
  - 3.2.1 Die Wiederentdeckung des Ptolemäus und erste Deutschlandkarten: Die Renaissance . . . 26
  - 3.2.2 Messgeräte und Messverfahren: Fortführung überlieferter Entwicklungen . . . 31
  - 3.2.3 Regionalkarten des 16. und frühen 17. Jahrhunderts: Erfassung von Landesherrschaften . . . 38

4 Umbruch des Weltbildes und neue Messmethoden: Grundlagen für eine moderne Geodäsie 44
- 4.1 Copernicus, Kepler und Galilei: Das heliozentrische Weltsystem . . . 44
- 4.2 Triangulation und Messtischverfahren: Neue Techniken für die Erd- und Landesvermessung . . . 48
- 4.3 Bayern, Sachsen und Württemberg: Frühe Landesaufnahmen bereiten den Weg . . . 52

5 Neue Erdfigur und staatliche Landesaufnahmen: Die Geodäsie entsteht 58
5.1 Das ellipsoidische Erdmodell und die Messtechnik: Herausforderung für die Astronomie und die Geodäsie 59
5.1.1 Der geometrische Nachweis der Erdabplattung 59
5.1.2 Sternwarten und Instrumente: Deutsche Beiträge zur frühen Geodäsie 61
5.1.3 Das Meter als Längeneinheit 68
5.2 Landesaufnahmen im Zeitalter des Absolutismus 69
5.2.1 Das französische Vorbild 69
5.2.2 Auswirkungen in Süd- und Westdeutschland 72
5.2.3 Die mühsamen Anfänge in den preußischen Landen 79
5.2.4 Von Hannover bis Sachsen: Unterschiedliche Ansätze in den nord- und mitteldeutschen Staaten 84

6 Militärische Aufnahmen und systematische Landesvermessungen: Die Napoleonische Zeit 95
6.1 Die Militärkarten in Süd-, West- und Norddeutschland: Von den Koalitionskriegen bis zum Befreiungskrieg 96
6.1.1 Die Aufnahmen der französischen Ingenieurgeographen in Schwaben, Bayern und den Rheinlanden 96
6.1.2 Wechselnde Militärvermessungen im Nordwesten Deutschlands 101
6.2 Landes- und Katastervermessung als Einheit: Ein zukunftsweisender Weg wird beschritten 105
6.2.1 Das französische Parzellarkataster: Vorbild und Auswirkung . . 105
6.2.2 Die bayerische Landesvermessung unter Soldner: Ein bemerkenswertes Beispiel 107
6.2.3 Weitere Landesvermessungen in Westdeutschland 116
6.3 Die Anfänge deutscher Mitwirkung an einer wissenschaftlichen Geodäsie 120
6.3.1 Carl Friedrich Gauß und das Entstehen eines geodätischen Netzwerkes: Das wissenschaftliche Fundament wird gelegt 120
6.3.2 Franz Xaver von Zach: Wissenschaftsmanagement und Beginn einer Gradmessung 124

7 Gradmessungen und Landesvermessungen in den deutschen Ländern: Die Entstehung geodätischer Systeme bis zur Reichsgründung 128
7.1 Carl Friedrich Gauß: Theorie und Praxis erfahren neue Impulse 129
7.1.1 Die Gauß'sche Gradmessung und die neue Definition der Erdfigur 129
7.1.2 Die hannoversche Landesvermessung 137

7.2 Die preußische Landesvermessung organisiert sich: Trennung von militärischer und ziviler Zielsetzung . . . 142
7.2.1 Die Organisation des militärischen Vermessungswesens und frühe Aufnahmen . . . 142
7.2.2 Die Müffling'sche Epoche: Triangulation und militärisches Kartenwerk . . . 146
7.2.3 Die Bessel–Baeyer'sche Epoche: Wissenschaftlich-technische Durchdringung . . . 154
7.2.4 Der Aufbau des preußischen Katasters: Ein Erfolg ohne Landesvermessung . . . 162
7.3 Landesaufnahmen im Umfeld der Gauß'schen Landesvermessung . . . 172
7.3.1 Hessen, Thüringen und Braunschweig: Der Anschluss nach Süden . . . 172
7.3.2 Oldenburg, Mecklenburg, Schleswig-Holstein und Sachsen: Lösungen mit und ohne Einbeziehung des Katasters . . . 182
7.4 Die süddeutschen Landesvermessungen: Einheit von topographischer und katastraler Aufnahme . . . 191
7.4.1 Bayern: Fortsetzung des eingeschlagenen Weges . . . 191
7.4.2 Württemberg und Baden: Dem erfolgreichen Beispiel wird gefolgt . . . 193
7.5 Die dritte Dimension wird erfasst: Beginn systematischer Höhenaufnahmen . . . 198
7.6 Instrumentelle Entwicklungen und Ausbildung: Voraussetzungen für eine Qualitätssteigerung . . . 204
7.6.1 Gründung optisch-mechanischer Werkstätten . . . 204
7.6.2 Reglements, Ausbildung und Lehrbücher: Der Feldmesser entwickelt sich zum Ingenieur . . . 206

8 Organisierte internationale Zusammenarbeit: Der deutsche Beitrag 213
8.1 Die Mitteleuropäische Gradmessung: Baeyers Vision und Erfolg . . . 214
8.1.1 Vorgeschichte und Beginn . . . 214
8.1.2 Das Projekt wird zur Wissenschaftsorganisation: Die Ergebnisse der ersten Epoche . . . 219
8.2 Die Internationale Erdmessung: Das Geodätische Institut Potsdam und Helmerts Wirken . . . 229
8.2.1 Internationale und geowissenschaftliche Erweiterung . . . 229
8.2.2 Die Schwerefeldbestimmung als wesentliche Aufgabe . . . 232
8.2.3 Die Zeitkomponente des Erdkörpers wird erkannt . . . 238

9 Preußens Einfluss auf die Landesvermessung: Systematischer Aufbau und Qualitätssteigerung 241
9.1 Das einheitliche Längenmaß: Deutschland führt das Meter ein . . . 241

9.2 Die preußische Landesvermessung wird reformiert: Die Schreiber'sche Epoche und ihre Auswirkungen 246
9.2.1 Koordination und neue Standards: Das Zentraldirektorium der Vermessungen 246
9.2.2 Schreiber und die Landesaufnahme: Erneuerung der Grundlagenvermessung 248
9.2.3 Die geodätischen Grundlagen: Der „Schreiber'sche Westen" und das Urnivellement 252
9.2.4 Die Verbindung von Kataster- und Landesvermessung: Ein langer Weg 263
9.3 Anschluss, Neuaufnahmen und Fortführung: Das Vermessungswesen außerhalb Preußens 267
9.3.1 Anschluss an die Preußische Landesaufnahme: Die Landesvermessung der Anrainerstaaten 267
9.3.2 Sachsen: Die Nagel'sche Vermessung setzt einen hohen Maßstab 271
9.3.3 Erneuerung der Vermessungswerke in den süddeutschen Staaten 276
9.4 Der „Vermessungsingenieur" entsteht: Das Wirken des „Deutschen Geometervereins" und die akademische Ausbildung 279

10 Vereinheitlichungsbestrebungen ab 1919: Auf dem Weg zu einem deutschen Vermessungswesen 289
10.1 Umstrukturierungen und Zielvorgaben: Die Neuformation des Vermessungswesens in der Weimarer Republik 289
10.1.1 Die Grundlagenvermessung wird zivile Aufgabe: Das Reichsamt für Landesaufnahme 289
10.1.2 Freiwillige Zusammenarbeit: Der Beirat für das Vermessungswesen 292
10.1.3 Wissenschaftliche Geodäsie und internationale Kontakte: Das Geodätische Institut Potsdam unter schwierigen Bedingungen . 294
10.2 Vereinheitlichung und reichsweite Aufnahmen: Das Vermessungswesen im totalitären Staat 298
10.2.1 Die Neuorganisation des Vermessungswesens: Das Neuordnungsgesetz und seine Folgen 298
10.2.2 Die deutschen Landesvermessungen wachsen zusammen: Reichsfestpunktfeld und Reichskartenwerke 302
10.2.3 Das Höhenfestpunktfeld: Netzerneuerung, Netzverdichtung und geokinematische Nutzung 310

10.2.4 Messinstrumente und Rechenhilfsmittel: Technologischer Fortschritt und industrielle Fertigung 314
10.2.5 Reichsweite Bestandsaufnahmen von geodätischer Relevanz: Reichsbodenschätzung mit Reichskataster und Geophysikalische Reichsaufnahme 319

11 Elektronik und künstliche Erdsatelliten: Die radikale Veränderung des Vermessungswesens in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts 323

Literaturverzeichnis 331

Verzeichnis der Abbildungen 359

Namen- und Sachverzeichnis 369

1 Einführung

1.1 Zielsetzung

Die Geodäsie ist nach der klassischen Definition von Friedrich Robert Helmert (1880) die „Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche“. Ihre Zielsetzung lässt sich in leichter Erweiterung zu Torge (2003) heute folgendermaßen beschreiben: *„Die Geodäsie hat die Aufgabe, die Figur und das äußere Schwerefeld der Erde und anderer Himmelskörper sowie deren Orientierung im Raum als Funktion der Zeit aus Beobachtungen auf den Oberflächen und außerhalb dieser Körper zu bestimmen“*. Die Geodäsie zählt damit sowohl zu den Geowissenschaften als auch zu den Ingenieurwissenschaften, ihre Entwicklung wird durch die Fortschritte in Mathematik, Physik und Technik bestimmt. Mit einer über 2000-jährigen Geschichte gehört die Geodäsie neben der Astronomie und der Geographie zu den ältesten Wissenschaften, welche sich mit dem Planeten Erde befassen, ihre Entwicklung wird u. a. in Perrier (1949), Bachmann (1965) und Bialas (1982) ausführlich behandelt.

Der im englischen und französischen Sprachraum üblichen Einteilung folgend, werden wir hier im Wesentlichen nur die Erdmessung und die Landesvermessung betrachten, also die globalen und regionalen Aufgabenstellungen der Geodäsie. Die Ergebnisse dieser großräumigen Vermessungen dienen einerseits der wissenschaftlichen Zielsetzung der Bestimmung von Größe und Gestalt der Erde einschließlich ihrer Orientierung im Raum und ihrer zeitlichen Veränderungen, andererseits liefern sie die Grundlagen für die Positionsbestimmung und Navigation, die Entwicklung von Landeskartenwerken, den Aufbau von Liegenschaftskatastern und Geoinformationssystemen sowie die Durchführung von Ingenieurprojekten. Die Geodäsie ist damit in die gesellschaftliche, wissenschaftliche und technische Entwicklung der jeweiligen Zeit eingebettet und von dieser abhängig, hierauf wird in den jeweiligen Epochen einzugehen sein. Dabei werden auch die Zusammenhänge zwischen den geodätischen Produkten und den oben genannten Anwendungsfeldern sichtbar werden.

Eine Darstellung der Geschichte der Geodäsie in *Deutschland* ist besonders reizvoll, da hier wegen der seit dem Mittelalter bestehenden territorialen Zersplitterung und der häufigen politischen Veränderungen eine Vielzahl von unterschiedlichen theoretischen und praktischen Ansätzen zur Lösung der geodätischen Aufgaben zu finden ist. Dabei bestehen naturgemäß enge Querverbindungen zu Entwicklungen außerhalb Deutschlands, die deutschen Beiträge zur Entwicklung der Erdmessung sind überhaupt nur im internationalen Zusammenhang zu sehen. Andererseits haben die Resultate der Landesvermessungen häufig auch zu den globalen Aufgaben der Erdmessung beigetragen.

In der Geodäsie lassen sich – wie in vielen anderen Gebieten – wesentliche Grundlagen theoretischer und praktischer Art auf im Altertum gewonnene Erkenntnisse und dort entwickelte Verfahren und hier im Wesentlichen auf den sumerisch-babylonischen,

den ägyptischen und den griechisch-hellenistischen Kulturkreis zurückführen. Nicht betrachtet werden die außerhalb des Mittelmeerraumes gelegenen Hochkulturen in China, Indien und Amerika, da ihr Einfluss auf die Entwicklung der Geodäsie in Deutschland gering bleibt oder gar nicht vorhanden ist. Durch Byzanz und die Araber bewahrt, wird das antike Wissen im Mittelalter in den europäischen Kulturkreis hineingetragen. Die stark anwendungsbezogenen vermessungstechnischen Arbeiten im Römischen Reich haben aber ebenfalls ihre Spuren in der Entwicklungsgeschichte der Geodäsie in Europa und in Deutschland hinterlassen. Mit dem von der Astronomie und Physik begründeten neuen Weltbild, der zunehmenden Entwicklung des Handels und dem allmählichen Entstehen politischer Einheiten finden wir im späten Mittelalter und in der frühen Neuzeit auch in Deutschland Vorläufer der „modernen“ Geodäsie. Deren Beginn kann dann mit den berühmten französischen Gradmessungen zur Bestimmung der Erdfigur und den ersten auf einer trigonometrischen Grundlage beruhenden Landesvermessungen auf das 18. Jahrhundert datiert werden. Im 19. Jahrhundert bildet sich schließlich die Geodäsie als eigenständige wissenschaftliche Disziplin heraus, Deutschland leistet hierbei in Erd- und Landesvermessung wesentliche Beiträge. Mit dem Vordringen der geodätischen Raumverfahren findet in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine immer stärkere „Globalisierung“ der Geodäsie statt, die nationalen Bezugssysteme gehen nun in einem global definierten geodätischen Standard auf.

Die folgende „Geschichte der Geodäsie“ geht dementsprechend vom Altertum aus und führt über das Mittelalter und die frühe Neuzeit mit immer stärkerer Konzentration auf Deutschland zu den Landesvermessungen des 18. bis 20. Jahrhunderts. Diese werden ausführlich beschrieben, dabei wird auch der Zusammenhang mit der Erdmessung und die praktische Nutzung für die Herstellung geographischer und topographischer Karten und den Aufbau von Liegenschaftskatastern herausgestellt. Die in der neueren Literatur gut dokumentierte und die Geodäsie radikal verändernde Entwicklung seit der Mitte des 20. Jahrhunderts wird nur zusammenfassend beschrieben.

Von den vorliegenden umfassenden Darstellungen zur Entwicklung der Geodäsie in Deutschland sei hier vor allem Jordan–Steppes (1882) genannt, eine nützliche Zusammenstellung von Fakten und Daten findet sich bei Scheel u. Mohr (1978). Suckow u. Ellerhorst (1932) geben einen Überblick über das deutsche Vermessungswesen um 1930, und im Planheft (1944) wird der Stand der Landesvermessung zu Beginn der 1940er Jahre beschrieben; beide Zusammenstellungen enthalten auch Erläuterungen zu den historischen Entwicklungen seit dem 19. Jahrhundert. Spezialliteratur ist u. a. mit Hilfe der „Bibliographie zur Geschichte des Vermessungswesens“ (Grewe 1984/1992, Labicki u. Resnik 2004) und mit den jährlichen Literaturübersichten (bis 2000) in der Zeitschrift für Vermessungswesen (ZfV – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement) zu finden. Als Beispiel für die Entwicklung der Geodäsie in unserem westlichen Nachbarland sei schließlich auf eine instruktive Darstellung der „französischen“ Geodäsie hingewiesen (Levallois 1988). Zur Geschichte der Astronomie verweisen wir auf Wolf (1890/1892), Bialas (1998) und Hamel (1998). Die Geschichte der

Kartographie wird u. a. in Arnberger u. Kretschmer (1975) und in Bagrow u. Skelton (1985) behandelt.

1.2 Zu den Begriffen „Geodäsie“ und „Landesvermessung“

Der bei den Griechen geprägte Begriff „Geodäsie“ erfährt bis zu der heutigen Definition mehrfach inhaltliche Änderungen, die auch eine geschichtliche Darstellung tangieren. Hierauf und auf den hier ebenfalls durchgehend benutzten Begriff „Landesvermessung“ soll kurz eingegangen werden.

Das Wort *Geodäsie* ($\gamma\eta$ = Erde, $\gamma\varepsilon\omega\delta\alpha\acute{\iota}\sigma\acute{\iota}\alpha$ = Erdteilung, Landverteilung) erscheint erstmals bei Aristoteles (384–322 v. Chr.) im 2. Buch der Metaphysik (Schmidt 1935). Es bedeutet jede Art von praktischer Messung einschließlich der Vermessung von Oberflächen und Körperinhalten. Als Anwendung der *Geometrie* ($\gamma\varepsilon o\mu\varepsilon\tau\rho\iota\alpha$ = Erdmessung) hat die Geodäsie als „freie Kunst“ dabei einen geringeren Stellenwert als die „reine Mathematik“. Auch als *„Praktische Geometrie“* bezeichnet, bleibt diese Erklärung als „Feldmesskunst“ im Mittelalter und in der Neuzeit bis in das 18. Jahrhundert hinein üblich. Sie umfasst die Feldmessung einschließlich der Grenzfestlegung und die im Bau- und Kriegswesen benötigten Vermessungen. Die Vermessung großer Teile der Erde und ihre Abbildung zählt dagegen zur *„Mathematischen Geographie“*, also der „Erdbeschreibung“ (Schmidt 1828). Anfang des 19. Jahrhunderts wird dann im deutschen Sprachraum der Begriff der Geodäsie erweitert und zwischen der „höheren“ und der „niederen“ Geodäsie unterschieden. Die „höhere“ Geodäsie umfasst nun mit der *Erdmessung* und der *Landesvermessung* die großräumigen Aufgabenstellungen, bei denen die Krümmung der Erdoberfläche und das Schwerefeld nicht vernachlässigt werden dürfen. Dies entspricht der international und im englischen Sprachraum üblichen Definition der *„geodesy“*.

Zu Beginn der Neuzeit findet sich z. B. bei Conrat von Ulm (Straßburg 1579) die Formulierung *„Geodaesia, das ist von gewisser und bewährter Feldmessung“* (Bialas 1970), und auch Anfang des 19. Jahrhunderts definiert Klügel (1805, S. 311) noch folgendermaßen: *„... Geodäsie ist eigentlich derjenige Teil der praktischen Geometrie, worin die Einteilung der Felder und Ländereien nach vorgeschriebenen Verhältnissen und Maßen gelehrt wird ... Man gebraucht das Wort aber auch im weiteren Verstande für die Feldmesskunst überhaupt“*. In der Instruktion für die bayerische Landesvermessung (1808) werden die Vermessungsarbeiten in die des Trigonometers (Triangulation), des Geometers (graphische Festpunktverdichtung) und des Geodäten (Messtischaufnahme) unterschieden; 1830 erhält der bisherige Geodät die Bezeichnung Geometer, der Geometer wird zum Obergeometer. Späth (1816) unterscheidet dann bereits die „höhere“ Geodäsie von der „gemeinen“ oder „elementaren“ Geodäsie, erstere zählt er zur höheren angewandten Trigonometrie (Abb. 1.1). Nach Decker (1836) liefert die „höhere“ Geodäsie die *„Regeln zur zusammenhängenden Vermessung eines ganzen Landes“*, sie wird von der „niederen“ Geodäsie oder „Feldmesskunst“ unterschieden. Nach Hunaeus (1848) soll die „praktische Geometrie“ den diese Wissenschaft *„Lernenden befähigen, kleinere oder größere Theile der Erdoberfläche zu messen und auf dem Papiere abzubilden ... “*, die „höhere Geodäsie“ stellt sich als hiervon unterschiedener besonderer Bereich dar (Abb. 1.2). Helmert (1880) etabliert dann mit

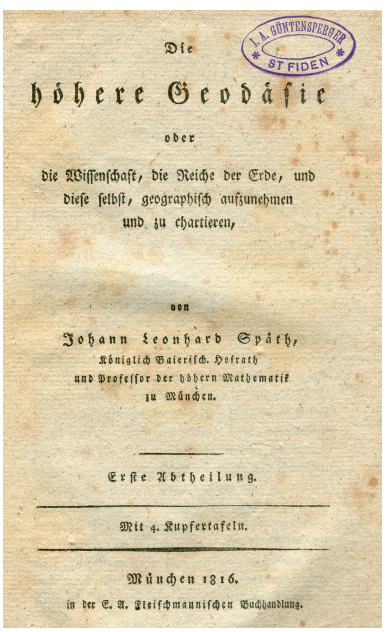

Abb. 1.1. Titelseite von J. L. Späth: „Die höhere Geodäsie“, München 1816

Abb. 1.2. Titelseite von G. Hunäus: „Lehrbuch der praktischen Geometrie“, Hannover 1848

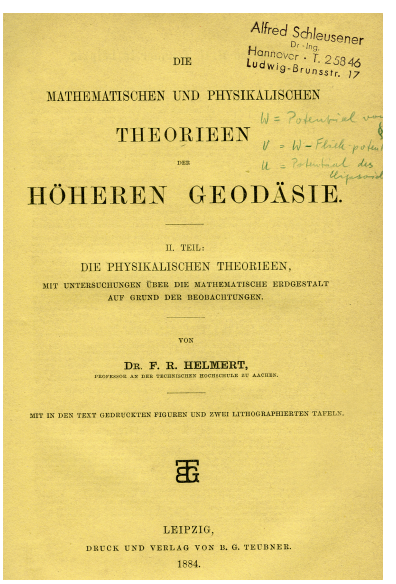

Abb. 1.3. Titelseite von F. R. Helmert: „Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie“, Band 2, Leipzig 1884

seinem grundlegenden Werk (Abb. 1.3) die „höhere Geodäsie“ als eigenständige wissenschaftliche Disziplin, sie wird später auch im deutschen Sprachraum oft nur als „Geodäsie“ bezeichnet (Baeschlin 1948, Torge 2003). Daneben findet sich die Bezeichnung „Geodäsie“ aber auch weiterhin für den gesamten Bereich der Vermessungskunde (z. B. Jordan–Eggert 1950, S. 1).

Bei einer regional begrenzten Betrachtung der Geodäsie spielt der Begriff der *„Landesvermessung“* eine besondere Rolle. Hierunter wird zunächst die Grundlagenvermessung eines Landes verstanden, mit der das geometrische Gerüst für die anschließende topographische Aufnahme gelegt wird. Diese Detailvermessung wird zusammen mit der Herstellung der topographischen Landeskartenwerke oft auch als (topographische) *„Landesaufnahme“* bezeichnet. Meist ist unter „Landesvermessung“ bzw. „Landesaufnahme“ aber die Gesamtheit der zur geographischen und administrativen Erfassung eines Landes notwendigen und staatlicherseits durchgeführten trigonometrischen, topographischen und kartographischen Arbeiten subsumiert worden, wobei häufig auch die Katastervermessung einbezogen wurde. In den vergangenen zwei Jahrhunderten wurden diese beiden Bezeichnungen oft nebeneinander benutzt. Gegenwärtig zeichnet sich im Zusammenhang mit dem Schlagwort „Geoinformation“ ein Zurückdrängen des Ausdrucks „Landesvermessung“ in den amtlichen Bezeichnungen ab.

In den süddeutschen Staaten und einigen anderen deutschen Ländern hat der Begriff „Landesvermessung“ die am weitesten gehende Definition gefunden, wie etwa das Werk von Amann (1908) über die der Katasteraufstellung dienende bayerische Landesvermessung in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts zeigt: 1915 wird das Königliche Katasterbüro in Bayerisches Landesvermessungsamt umbenannt! Die kurhannoversche „Landesaufnahme“ des 18. Jahrhunderts wird in den Akten auch als „Landesvermessung“ bezeichnet (Bauer 1993, S. 123), beschränkt sich aber auf die topographische Aufnahme ohne Katastervermessung. Das bleibt auch unverändert mit der 1828 im Königreich Hannover angeordneten und von C. F. Gauß geleiteten trigonometrischen Landesvermessung, welche als Grundlage für die „Gauß’sche (topographische) Landesaufnahme“ dient. In Preußen wird 1875 die Königlich Preußische Landesaufnahme mit der trigonometrischen, topographischen und kartographischen Abteilung gegründet. Sie geht 1921 in das Reichsamt für Landesaufnahme über; das Liegenschaftskataster wird unabhängig hiervon organisiert. Nach dem zweiten Weltkrieg entstehen in den einzelnen Bundesländern Landesvermessungsämter mit vergleichbaren Zuständigkeiten, so 1948 das Niedersächsische Landesvermessungsamt.

Im letzten Jahrzehnt sind mit dem Vordringen von Begriffen wie Geoinformation und Geobasisdaten Veränderungen in den Bezeichnungen der für die Landesvermessung zuständigen Institutionen festzustellen. So werden etwa die Aufgaben der Landesvermessung in Niedersachsen seit 1997 vom Landesbetrieb „Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen“ (LGN) wahrgenommen (Nieders. Min.blatt 47. (52.) Jahrgang, Nr. 34: 1281–1284, 1997). Zu den Aufgaben dieses Betriebes gehören die Schaffung eines Landesbezugssystems und der Nachweis eines Topographisch-Kartographischen Informationssystems. Im Niedersächsischen Gesetz über das amtliche Vermessungswesen (NVermG) vom 12. Dezember 2002 (Nachr. d. Nieders. Verm.- und Kat.verw. 53: 4–8, 2003) taucht der Begriff „Landesvermessung“ nicht mehr auf, sondern es wird vom Vorhalten eines Landesbezugssystems und dem Nachweis der Liegenschaften und der Topografie gesprochen. Die erweiterte Begründung zu diesem Gesetz (a. a. O.: 9–28) spricht dann von der „Landesvermessung“ als historisch gewachsener Aufgabe,

wobei hierunter die „Grundlagenvermessung“ und die „Topografische Landesaufnahme“ verstanden wird. Aus dem Bayerischen Landesvermessungsamt ist Anfang des 21. Jahrhunderts das „Landesamt für Vermessung und Geoinformation“ geworden, analoge Entwicklungen finden sich in den anderen Bundesländern.

1.3 Grundlegende Fragestellungen der Geodäsie

Bei einer Behandlung der Geodäsie im Sinne von Erdmessung und Landesvermessung ist auf die folgenden grundlegenden Fragen einzugehen:

- *Definition der Erdfigur und Festlegung ihrer Parameter*: Nach der spekulativen Frage zur Figur der Erde und ihrer Stellung im Weltraum bei den alten Kulturen folgt die Anerkennung der Kugelgestalt vor weit über 2000 Jahren. Damit tritt das Problem der Bestimmung des Erdumfangs auf, wobei das bis in das 16. Jahrhundert anerkannte geozentrische Weltsystem eine durchaus leistungsfähige Arbeitshypothese darstellt. Die später mit dem Ellipsoid und dem Geoid vorgenommenen Verfeinerungen des Erdmodells erzwingen die Festlegung einer erheblich größeren Zahl von Modellparametern und erfordern damit auch wesentlich detailliertere globale und regionale Vermessungen.

- *Definition und Realisierung eines Bezugssystems*: Auf die bei den Griechen eingeführte Einteilung in Klimazonen und die Erdoberfläche zerlegenden Hauptlinien folgt bereits im Altertum die bis heute gültige Ortsfestlegung durch geographische Koordinaten mit einem entsprechenden Koordinatennetz und damit auch die enge Verbindung von Geodäsie und Astronomie. Die sehr früh erkannten zeitlichen Veränderungen in den zälestisch-terrestrischen Bezugssystemen führen die Zeit als wesentliche Komponente in die Geodäsie ein.

- *Festlegung der Maßeinheiten*: Die auf der Geometrie beruhende Geodäsie benötigt insbesondere Festlegungen für die Einheiten von Länge und Winkelmaß. Eine einheitliche Zählung der Winkel ist seit über 3000 Jahren mit der 360°-Teilung des Vollkreises und der sexagesimalen Unterteilung weitgehend erreicht. Die Standardisierung der lange Zeit von menschlichen Körperteilen oder Gegenständen der Natur abgeleiteten Längeneinheiten blieb dagegen bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts unbefriedigend. Dies führt gerade bei der Diskussion älterer Vermessungen zu teilweise erheblichen Unsicherheiten.

- *Bereitstellung von Mess- und Auswerteverfahren*: Vom Altertum bis in die Gegenwart lässt sich hierbei zwischen großräumigen und lokalen Verfahren unterscheiden, wobei nach einer Stagnation im Mittelalter vom 16. Jahrhundert an wesentliche Fortschritte in Theorie und Praxis festzustellen sind. Großräumig liefern die auf Winkel- und Zeitmessungen beruhenden astronomischen Methoden absolute Positionen und Richtungen, während kleinräumig die Messung von Strecken und Winkeln zwischen Punkten auf der Erdoberfläche die lokale Geometrie liefert. Nach entsprechender Modifikation und Verfeinerung der lokalen Verfahren können diese auch für Aufgaben der Erd-

und Landesvermessung genutzt werden. Die entsprechende Kombination mit den astronomischen Methoden setzt bereits im Altertum ein und erreicht mit den Gradmessungen und Landesvermessungen des 18. und 19. Jahrhunderts einen Höhepunkt.

- *Bereitstellung von Verfahren zur Abbildung in die Ebene*: Die auf der gekrümmten Erdoberfläche durchgeführten Messungen und Berechnungen müssen für die folgende Nutzung, also den Anschluss von Detailvermessungen und die Darstellung der Erdoberfläche in geographischen, topographischen und thematischen Karten i. Allg. in ein ebenes Bezugssystem transformiert werden, was nicht ohne Verzerrungen möglich ist. Fragen der Abbildung in die Ebene sind dementsprechend bereits im Altertum behandelt und mit speziellen Lösungen beantwortet worden, in der Neuzeit wurde dann insbesondere mit der Entwicklung konformer Abbildungen eine für die Geodäsie zufriedenstellende Strategie entwickelt.

Die hier kurz angedeuteten Fragen werden sich im Folgenden sowohl bei der historischen Entwicklung als auch bei der regionalen Betrachtung wiederfinden.

2 Schaffung der Grundlagen: Altertum

Im Altertum werden bis in die Neuzeit maßgebliche Grundlagen für die Geodäsie gelegt. Diese beziehen sich einerseits auf die Astronomie und die Erfassung der Erdfigur, andererseits auf die Feldmessung und die Ingenieurbaukunst mit den dort jeweils benötigten mathematischen Kenntnissen sowie technischen Möglichkeiten und Standards. Zusammenfassende Darstellungen hierzu finden sich u. a. in Minow et al. (1973/1976) und Bialas (1982), Lelgemann (2001) gibt eine breit gefächerte Zusammenfassung und Interpretationen aus geodätischer Sicht. Im Altertum und im Mittelalter verwendete Messinstrumente werden u. a. in Schmidt (1935) und Peters (2002) beschrieben, s. auch Deumlich u. Staiger (2002). Zugehörige Messverfahren erläutert Hertel (1995), und Weißgerber (1969) weist auf antike Quellen hin. Grundlegende Ausführungen zur Geographie und zum Weltbild der Griechen finden sich bei Berger (1903) und Szabó (1992).

2.1 Astronomie und Feldmessung: Sumerisch-babylonischer und ägyptischer Kulturkreis

Im 4. Jahrtausend v. Chr. findet in den Flusslandschaften Mesopotamiens (Euphrat und Tigris) und Ägyptens (Nil) der Übergang vom Jäger- und Hirtentum zum Bauerntum statt. Um 3000 v. Chr. entstehen hier auch die ersten städtischen Hochkulturen; die Entwicklung der Schrift schafft eine entscheidende Voraussetzung für die Übertragung von Wissen und Fähigkeiten. Von der Priesterkaste geleitet entwickeln sich Verwaltung und Rechtswesen, aber es beginnen auch, religiös und kultisch motiviert, erste systematische Himmelsbeobachtungen mit der anschließenden Entdeckung astronomischer Gesetzmäßigkeiten: dies ist der Anfang der *Astronomie*. Gleichzeitig entwickelt sich die *Feldmesstechnik* im Zusammenhang mit der Verteilung des Landbesitzes und wasserbaulichen Maßnahmen sowie die für die Errichtung von Großbauten erforderliche *Bauvermessung*.

Als *Längenmessgeräte* dienen bei diesen lokalen Vermessungen unterteilte Messseile und Messstangen, größere Distanzen werden durch Abschreiten ermittelt. Sehr früh werden auch Längeneinheiten festgesetzt, wobei die der Länge des Unterarms entsprechende Elle als Grundeinheit dient. *Rechte Winkel* werden mit dem Winkelkreuz abgesteckt, zur Festlegung der *Vertikalen* bzw. *Horizontalen* werden Lote und Wasserwaagen verwendet. Die Auswertung der auf eng begrenzte Gebiete beschränkten Messungen setzte bereits ein entwickeltes rechnerisches Können und die Kenntnis praktischer *Geometrie* voraus.

Die mechanische Längenmessung mit Seilen und später mit Messketten und -bändern sowie mit Messlatten bleibt über mehr als 4000 Jahre Standardwerkzeug des Vermessungswesens und

liefert auch bei Grundlagenvermessungen bis in das 20. Jahrhundert den Maßstab geodätischer Netze. Daneben werden bis in das 18. Jahrhundert hinein geometrische Informationen über ausgedehnte Gebiete weiterhin auch durch Abschreiten, Abreiten und Abfahren gesammelt. Rechtwinkelgeräte, Lote und Libellen gehören bis in die Gegenwart zur Ausrüstung des Vermessungsingenieurs.

Das *Weltbild* ist in diesen Stromkulturen mythisch-religiös bestimmt und durch die geographischen Kenntnisse über den eigenen Lebensraum begrenzt. So finden sich unterschiedliche Vorstellungen in Bezug auf die Erdfigur und die Größe der Welt. Oft wird die Erde als vom Ozean umflossene Scheibe angesehen, mit dem jeweils übersehbaren Lebensbereich als Mittelpunkt. Wir finden aber auch schon erste kartenähnliche Darstellungen der Erdoberfläche, sowohl für den gesamten überschaubaren Lebensraum als auch für spezielle Gebiete.

- Die wechselvolle Geschichte *Mesopotamiens* beginnt im 3. Jahrtausend v. Chr. mit der sumerisch-babylonischen Kultur. Tontäfelchen aus Nippur weisen mathematische Kenntnisse zur Lösung vermessungstechnischer Aufgaben und ein Zahlensystem nach. Ein Maß- und Gewichtssystem wird durch den Gottkönig Dungi I. eingeführt.

Der im Tempel von Nippur aufgefundene kupferne Ellenmaßstab (um 2800 v. Chr.) von 51,8 cm (Abb. 2.1) korrespondiert mit dem 16 Finger (1 Finger = 1,65 cm) breiten „Gudea“-Fuß von 26,4 cm, der sich als Maßstab auf den Knien der im Louvre befindlichen Diorit-Statue des Priesterkönigs Gudea von Lagasch (um 2600 v. Chr.) findet (Abb. 2.2). Die diesem Wert entsprechende 30 Finger breite *gemeine babylonische Elle* lässt sich als Urmaß für alle Längenmaßeinheiten des Altertums betrachten, daneben wurde die königlich-babylonische Elle als das $^{10}/_{9}$-fache hiervon (55 cm) benutzt. Abgeleitet hieraus werden als das 360-fache der „Doppelminutenweg“ zu 178 m bzw. 198 m, von den Griechen auch „griechisch-römisches“ bzw. „babylonisch-persisches“ Stadion genannt.

Eine Darstellung der „ganzen Welt“ findet sich auf einem babylonischen Tontäfelchen aus dem 7. Jhd. v. Chr. Diese Kopie einer um 2400 v. Chr. entstandenen „Weltkarte“ zeigt Babylonien, Assyrien und den Euphrat, umringt vom Ozean. Auf die Sumerer und Babylonier geht auch die 12-Stunden-Teilung des Tages, die Kreisteilung in 360° sowie die Sexagesimalteilung zurück. Eine Blütezeit erlebt die beobachtende Astronomie im

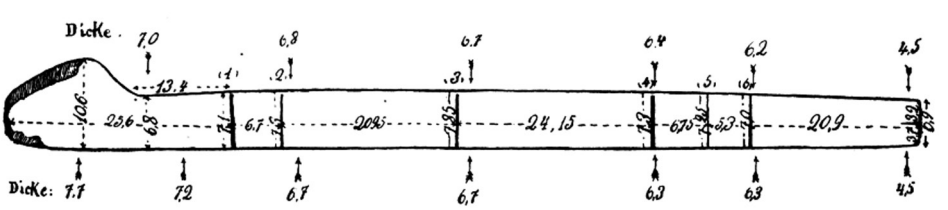

Abb. 2.1. Nippur-Elle, etwa 2800 v. Chr. (Nachzeichnung)

Assyrischen Reich (etwa ab 1200 bis 612 v. Chr.) und dem anschließenden neubabylonischen Reich der Chaldäer, hier findet sich bereits der Beginn einer wissenschaftlichen Methodik (Bialas 1998). Diese Epoche endet mit der Eroberung durch die Perser (539 v. Chr. fällt Babylon) und dem Ende des Perserreiches (336–330 v. Chr.) durch den Feldzug Alexanders des Großen.

Abb. 2.2. Gudea von Lagash mit Bauplan und geteiltem Lineal, um 2600 v. Chr. (Nachzeichnung)

• In *Ägypten* entsteht im Alten Reich des 3. Jahrtausend v. Chr. Privatbesitz an Grund und Boden, damit treten im Zusammenhang mit den jährlichen Nilüberschwemmungen vermessungstechnische Aufgaben in großem Umfang auf. Zur Wiederherstellung der Besitzverhältnisse werden regelmäßig Neuvermessungen und Feldzuteilungen notwendig, ein „Grundsteuerkataster“ ist seit dem 2. Jahrtausend v. Chr. (Höhepunkt des „Neuen Reiches“ unter Ramses II., 1290–1224 v. Chr.) nachgewiesen. Als Messgeräte finden Messseile (Längen etwa 100 Ellen = 53 m) aus Binsen oder Hanf, die durch Knoten in Ellen unterteilt werden, oder Messlatten aus Holz Verwendung (Abb. 2.3). Die Bematisten spielen als beamtete Schrittzähler eine große Rolle. Rechte Winkel werden mit einem Winkelhaken oder einer Messschnur mit Hilfe des 3:4:5-Verhältnisses („Ägyptisches Dreieck“) abgesetzt. Mit diesen Werkzeugen und mit Setzwaage und Lot gelingt auch eine exakte Absteckung großer Bauwerke wie der Pyramiden. Die astronomischen Kenntnisse erlauben darüber hinaus die Ausrichtung von Großbauten nach Himmelsrichtungen (Beispiel Cheopspyramide, Schmidtchen 2005). Die vermessungstechnischen Arbeiten setzen grundlegende Kenntnisse der Arithmetik und der Geometrie voraus, dies wird u. a. aus dem um die Mitte des 2. Jahrtausend v. Chr. geschriebenen „Papyrus Rhind“ (nach dem Ägyptologen A. H. Rhind) ersichtlich (Hammer 1908).

Die ägyptischen Längenmaße basieren überwiegend auf der dem zweifachen Gudea-Fuß entsprechenden und seit etwa 2700 v. Chr. nachweisbaren *Königselle* (auch ägyptisch-ptolemäische Elle) von 52,8 cm mit den Unterteilungen $1/28$ = 1 Fingerbreit = 1,9 cm und $1/7$ = 1 Handbreit = 4 Fingerbreit = 7,5 cm. Die Länge dieser großen königlich-ägyptischen Elle ist durch eine

Abb. 2.3. Ägyptische Seilspanner beim Feldmessen. Wandmalerei im Grab des Mena in Theben, um 1420 v. Chr.

Anzahl von Maßstäben aus Holz oder Bronze überliefert (Abb. 2.4), auf diesen findet sich daneben das Maß einer „kleinen“ (ägyptischen) Elle zu $^6/_7$ der „großen“ Elle = 45,4 cm. Das Ellenmaß wurde auch an verschiedenen Nilmessern (von den alten Ägyptern zur Ermittlung der Wasserstände längs des Nils eingerichtete Pegel) gefunden. So liefert der bereits bei Strabon (um Christi Geburt) beschriebene Nilometer auf der Insel Elephantine bei Syene (Assuan) den Wert 52,7 cm, und Jordan (1889) findet für den 716 n. Chr. eingerichteten Pegel auf der Insel Rodah bei Kairo den Wert 52 cm.

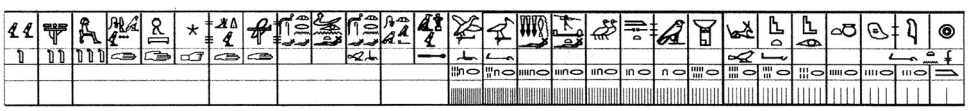

Abb. 2.4. Ägyptische Königselle, Holz, 14. Jhd. v. Chr. (Nachzeichnung)

2.2 Erdfigur und Geographie: Griechisch-hellenistischer Kulturkreis

2.2.1 Die Erdvermessung als wissenschaftlich-praktisches Problem: Die Anfänge

Die ionische Naturphilosophie (6. Jahrhundert v. Chr.) markiert den Beginn der europäischen Wissenschaft, dabei wird auch die Frage nach der Erdfigur und der Ausdehnung der „Welt“ gestellt. Astronomie und Geometrie werden die tragenden Säulen der sich allmählich entwickelnden „Geodäsie“. *Thales von Milet* (etwa 624–546 v. Chr.) entwickelt die elementare Geometrie, die Erde schwimmt nach seiner Ansicht auf dem Ozean wie ein Stück Holz. Sein Schüler *Anaximandros aus Milet* (etwa 610–546 v. Chr.) soll bereits einen Himmelsglobus und eine Weltkarte entworfen haben, die Erde stellt sich ihm als flacher Zylinderstumpf dar. In dieser Anfangszeit herrscht dann aber bald die Kreisscheibe als Erdfigur vor. Dagegen vertreten *Pythagoras aus Samos* (um 580–500 v. Chr.) und seine Schule aus ästhetischen Gesichtspunkten bereits die Kugelgestalt für die in der Mitte der Welt frei schwebende Erde.

Zur Zeit des *Aristoteles* (384–322 v. Chr.) ist das *sphärische* Erdmodell allgemein anerkannt und durch (qualitative) Beobachtungen gestützt. Der Umfang des größten Kreises auf der Erde wird von Aristoteles *„nach Berechnungen der Mathematiker“* mit 400 000 Stadien angegeben, wobei die Art der Bestimmung und das Stadionmaß unbekannt bleiben. Diese Maßstabsfrage wird auch bei den späteren Erdumfangsbestimmungen der Antike eine wesentliche Rolle spielen und Auswirkungen bis in die frühe Neuzeit haben.

Aufbauend auf dem umfangreichen Beobachtungsmaterial der Babylonier entwickeln die griechischen Astronomen nun ein *geozentrisches* Weltbild. Das bereits von *Eudoxos von Knidos* (etwa 395–340 v. Chr.), einem Schüler Platons, entworfene geometrische Weltmodell geht von kreisförmigen Bewegungen der Gestirne um die Erde

aus. Es wird von Aristoteles aufgegriffen und bleibt über fast 2000 Jahre die herrschende Lehre. Hinweise auf ein *heliozentrisches* Weltsystem finden sich allerdings auch schon bei *Herakleides Pontikos* (um 350 v. Chr.), einem anderen Schüler Platons. Dieses später von *Aristarchos von Samos* (etwa 310–230 v. Chr.) postulierte System (hierüber berichtet Archimedes) mit einer um ihre Achse rotierenden Erde bleibt jedoch zunächst ohne Bedeutung.

Hinweise darauf, dass die Frage der Erdvermessung bereits in dieser frühen Zeit diskutiert wird, finden sich in zwei Komödien des *Aristophanes* (um 445–385 v. Chr.). So fragt in der 423 v. Chr. in Athen erstmals aufgeführten Komödie „Die Wolken" der ungebildete Landmann Strepsiades einen Schüler des Sokrates nach dem Nutzen der dort neben der Astronomie auch gelehrten Geometrie. Mit der Antwort „um die Erde zu vermessen" kann der Fragende nur die Vermessung umzuverteilender Feldstücke verbinden, er wird jedoch belehrt: „Nein, die Erde, die ganze Erde" (Bretterbauer 1999). In dem Stück „Die Vögel" (414 v. Chr. aufgeführt) tritt der in Athen bekannte Astronom Meton (um 430 v. Chr.) mit auffallenden Instrumenten auf, mit denen er die „Luft vermessen und nach Feldstücken zerteilen will". Hierunter kann das im Altertum für die Zeitbestimmung benutzte Horologium verstanden werden, das auch für Erdmessungszwecke eingesetzt wurde.

Für die Ortsbestimmung und die kartographische Darstellung entscheidend werden die bereits von *Dikaiarchos von Messene* (ca. 350–290 v. Chr.) benutzten Begriffe der *Breite* (meist Polhöhe genannt) und *Länge*. Hier finden sich auch die in der Folge bis Ptolemaios immer wieder benutzten Orientierungslinien und Begrenzungen für die *Oikumene*, das ist der aus der Sicht des hellenistischen Kulturkreises „bewohnte Teil der Erde".

Eine Hauptlinie ist die von West nach Ost von der Straße von Gibraltar über Messina und den Peloponnes durch Rhodos bis Kleinasien verlaufende Trennlinie (*„Parallel von Rhodos"*) zwischen dem nördlichen und dem südlichen Teil der Oikumene. Die in Nord-Süd-Richtung verlaufende zweite Hauptlinie führt von Meroe in Nubien (heute Sudan) und Syene (heute Assuan) im südlichen Ägypten über Alexandria und Lysimacheia am Hellespont (heute Dardanellen) bis zur Donaumündung und verläuft somit genähert im Meridian von *Alexandria*, beide Bezugslinien schneiden sich in Rhodos (Abb. 2.5). Das Erdbild selbst umfasst die vom Okeanos umgebenen Kontinente Europa, Asien und Afrika, wobei die bewohnte Zone auf Grund der jenseits herrschenden zu großen Kälte bzw. Hitze durch den Polarkreis und den nördlichen Wendekreis begrenzt wird. Damit ist die aus der Astronomie vermutlich seit Anaximandros bekannte Einteilung auf die Erde übertragen. Zwischen der Ost-West- und der Nord-Süd-Erstreckung der Oikumene wird ein Verhältnis von 3:2 bis 4:2 angenommen, wobei die Kanarischen Inseln die Begrenzung im Westen bilden; der östliche Rand bleibt dagegen vage. Zwar ist die Existenz der asiatischen Großreiche (Persien, Indien, China) bekannt, ihre Dimensionen sind jedoch völlig unsicher; über lange Zeit wird eine äquatoriale Ost-West-Ausdehnung von 180° angenommen. Auf Grund neuer, auf Reisen gewonnener Erkenntnisse muss dann die südliche Begrenzung der Oikumene bald bis zum Äquator und darüber hinaus verschoben werden. Bereits früh wird für die Konstruktion von Karten die bewohnte Erde durch „Parallel"-Linien zu den Hauptachsen in unterschiedlich breite Zonen zerlegt, bis schließlich bei Marinos von Tyros (2. Jahrhundert n. Chr.) das Gitternetz der geographischen Koordinaten in Form von Parallelkreisen und Meridianen erscheint, s. [2.2.2].

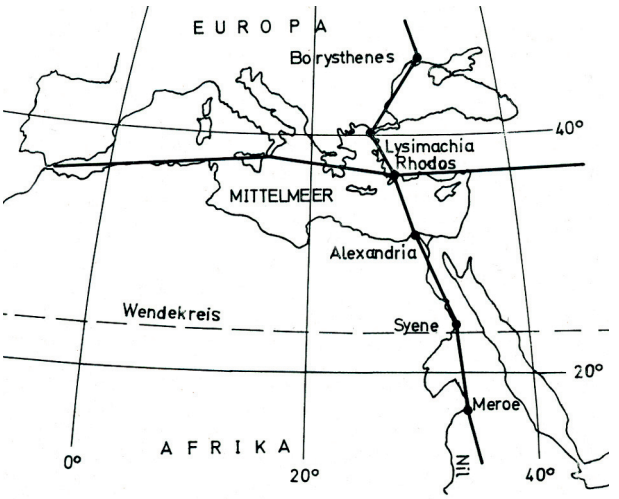

Abb. 2.5. Haupt-Orientierungslinien für die Geographie der Oikumene, ab 300 v. Chr.

Mit Aristoteles, Schüler Platons und Lehrer Alexanders von Makedonien, und dem kurzlebigen (336–323 v. Chr.), jedoch die politische Landschaft total verändernden Weltreich Alexanders des Großen (356–323 v. Chr.) verlassen wir die athenische Phase des Griechentums. In der nun einsetzenden hellenistischen Phase wird insbesondere in dem im Diadochenreich der Ptolemäer gelegenen *Alexandreia* ein Höhepunkt auch in den Natur- und Ingenieurwissenschaften erreicht.

331 v. Chr. von Alexander dem Großen gegründet, entwickelt sich Alexandreia (heute Alexandria) unter der Herrschaft der Ptolemäer bald zum kulturellen und wissenschaftlichen Zentrum der antiken Welt. Es bleibt dieses auch nach der Einverleibung Ägyptens durch das Römische Reich bis in die ersten Jahrhunderte nach Christi Geburt. Mittelpunkt des geistigen Lebens war das mit einer wissenschaftlichen Akademie und einer Universität vergleichbare *Museion*, in dem gerade auch die Astronomie, die Geographie und die Mathematik gepflegt wurden; hier wirkten u. a. Euklid, Eratosthenes, Hipparch, Strabon, Heron und Ptolemaios. Die zugehörige Bibliothek enthielt mit rund 750 000 auf Papyrusrollen geschriebenen Büchern den Wissensstand der damaligen Zeit. Die hellenistische Wissenschaft baute auf den griechischen Erkenntnissen auf, konzentrierte sich aber stark auf die Anwendungen. Bei der Eroberung Alexandrias durch Julius Cäsar (47 v. Chr. bei der Verfolgung des Pompeius) gehen wertvolle Schriften der Bibliothek verloren. Christliche Fanatiker setzen 391 n. Chr. die Zerstörung fort, der endgültige Untergang tritt schließlich bei der Eroberung durch die Araber (642 n. Chr.) unter Kalif Omar mit einer gezielten Bücherverbrennung ein.

In der wissenschaftlichen Fragestellung wird jetzt immer klarer zwischen der *astronomisch-geodätischen* und der eigentlich *geographischen* Aufgabe unterschieden. Erstere fragt nach der Stellung der Erde im Raum und ihrer Form und Größe, letztere nach der Beschreibung und Kartierung der Oikumene. Diese Aufgaben werden dadurch ge-

löst, dass zunächst auf der „Himmelskugel“ die Koordinaten (Richtungsangaben) von Himmelskörpern (Fixsterne, Sonne, Mond) in Abhängigkeit von der Zeit bestimmt werden. Mit Hilfe geometrischer Beziehungen (astronomische Messungen) lassen sich daraus entsprechende Koordinaten (geographische Breite und Länge) terrestrischer Punkte in einem erdfesten System ableiten. Auf der Erdoberfläche in bestimmten Richtungen gemessene (oder geschätzte) Entfernungen können mit Hilfe des Erdradius und nach Reduktion auf den Meridian bzw. den Parallelkreis in (Winkel-)Differenzen geographischer Koordinaten umgerechnet werden, hiermit lassen sich also weitere Punkte auf der Erdoberfläche festlegen. In Umkehrung dieser Aufgabe erfordert die Bestimmung des Erdradius demnach die Messung von mindestens einer terrestrischen Strecke und der zugehörigen Differenz der geographischen Koordinaten.

Auf den größten Astronomen der Antike *Hipparchos von Nikaia* (um 190–120 v. Chr.) geht der älteste bekannte *Sternkatalog* zurück. Mit der Angabe der Deklination (Winkelabstand vom Himmelsäquator) und der Rektaszension (auf dem Himmelsäquator gemessener Winkel zwischen der Richtung zum Frühlingspunkt und dem Deklinationskreis durch das Gestirn) von ausgewählten Fixsternen entsteht das Verzeichnis eines zälestischen „Festpunktfeldes“ zur Ableitung der Koordinaten terrestrischer Punkte. Hipparchos entdeckt auch die von der Präzession der Äquinoktien verursachten zeitlichen Veränderungen des Sternsystems und überträgt die 360°-Teilung von der Himmelskugel auf die Erde, führt also die geographische Breite und Länge ein. Schließlich entwickelt er die stereographische und die orthographische Projektion der Kugel auf die Ebene.

Für die Aufgaben der Erdmessung und der geographisch-kartographischen Erfassung der Oikumene stehen in dem hellenistischen Zeitabschnitt eine Anzahl von Instrumenten und Verfahren zur Verfügung, die zum Teil bereits den Babyloniern und Ägyptern bekannt waren. Vieles hiervon wird – mit zum Teil nur langsamer Weiterentwicklung – bis in die frühe Neuzeit Verwendung finden:

Die *„absolute“* Positionsbestimmung, d. h. die Bestimmung geographischer Koordinaten, ist direkt mit der Astrometrie und damit mit der Messung von Winkeln zu den Gestirnen verknüpft. Das auf Hipparchos zurückgehende *Astrolabium* (Sternnehmer) ist im Prinzip eine mit einer Gradeinteilung versehene Kreisscheibe. Mit Hilfe eines drehbaren Zeigerlineals mit Visiereinrichtung (Diopter) können Winkel in beliebigen Ebenen (Positionswinkel) gemessen werden. Das Astrolabium wird anfangs hauptsächlich zur Bestimmung von Gestirnshöhen eingesetzt, erhalten sind erst von den Arabern weiterentwickelte Geräte (Abb. 2.6). Zur Messung von Höhenwinkeln wird auch der erstmals von Ptolemäus (2. Jahrhundert n. Chr.) beschriebene *Quadrant* benutzt, ein ursprünglich auf einer senkrecht aufgestellten Platte aufgetragener, später auch tragbarer Viertelkreis mit einem Zeiger, s. [2.2.2]. Zur Bestimmung von Winkelangaben für den Sonnenstand und die astronomische Breite des Beobachtungsortes dient das bereits dem Anaximandros bekannte *Gnomon* (Schattenzeiger), ein in der Horizontalebene senkrecht aufgestellter Schattenstab. In Verbindung mit einer mit Stundeneinteilung versehenen offenen Halbkugelschale (*Skaphe*) als umgekehrtes Spiegelbild der Himmelskugel entsteht

das vielseitig nutzbare *Horologium*, Abb. 2.7 (Szabó 1992, Lelgemann 2000). Während die geographische Breite so relativ leicht mit Unsicherheiten von einigen Zehner Bogenminuten und besser bestimmt werden konnte, ließen sich geographische Längen (genauer: Längendifferenzen) nur gelegentlich aus den an verschiedenen Orten gleichzeitig beobachteten Mond- oder Sonnenfinsternissen ableiten. Die Längenbestimmung stellt dann auch wegen der Schwierigkeiten der Zeitübertragung bis in die Neuzeit ein ernstes Problem dar.

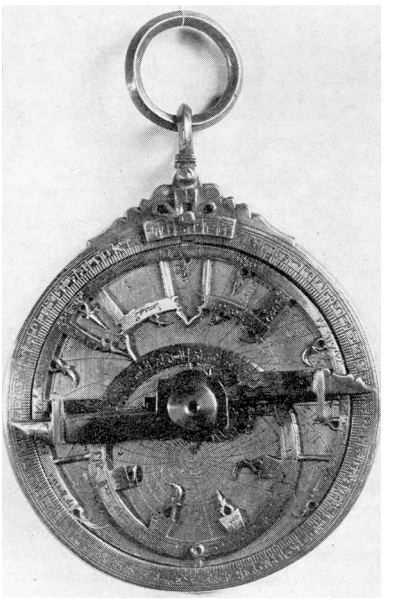

Abb. 2.6. Arabisches Astrolabium, etwa 1100 n. Chr.

Obwohl Hipparchos nach einer Kritik an der im 3. Jahrhundert v. Chr. entstandenen Karte des Eratosthenes, siehe [2.2.2], dafür eintritt, nur astronomische Ortsbestimmungen als Gerüst einer Karte zu benutzen, sind diese wegen des hohen Aufwandes bis in die Neuzeit nur in sehr begrenzter Zahl ausgeführt worden. Die Mehrzahl der terrestrischen „Festpunkte“ und natürlich die topographischen Details werden dagegen durch *„relative“* Messungen zwischen den Punkten festgelegt. Zu dieser relativen Positionsbestimmung dienen insbesondere die aus Reisezeiten zu Lande und zu Wasser und den zugehörigen Richtungsangaben gewonnenen Informationen über die gegenseitige Richtung und Entfernung zweier Punkte. Bei kürzeren Entfernungen wird auch die Schrittzählung und vereinzelt auch die Zählung der Umdrehungen eines Wagenrades genutzt. Schließlich fließen natürlich überlieferte Informationen in die Kartierungen ein, etwa aus den Angaben des ägyptischen Katasters. Bei der Umrechnung der Entfernungsangaben in geographische Koordinaten als im Kugelzentrum definierte Winkel wirkt sich die Unsicherheit der Bestimmung des Erdradius aus, dies bleibt bis in die Neuzeit ein Problem bei der kombinierten Auswertung astronomischer und terrestrischer Messungen.

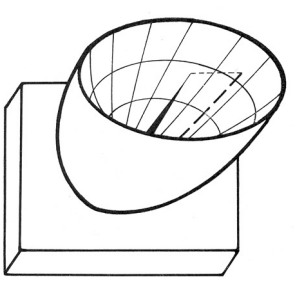

Abb. 2.7. Horologium, bestehend aus Gnomon und Skaphe (Prinzipzeichnung)

Bei der Identifikation der antiken *Längenmaße* und ihrer Transformation in das metrische System treten erhebliche Probleme auf (Prell 1957, Lelgemann 2004). Die in Griechenland und Rom für größere Wegstrecken benutzten Maße Stadion bzw. Meile lassen sich meist aus der babylonischen Elle ableiten. In den griechischen Stadtstaaten finden sich Fußmaße mit Längen zwischen 27 und 35 cm, in Rom der in 16 Fingerbreite unterteilte Fuß (pes) mit normalerweise 29,6 cm, doch kommen auch andere Werte vor.

Eindeutig zuzuordnen ist der römischen Meile die Länge von 1,48 km, sie wird in 1000 (Doppel-)Schritt (milia passuum) unterteilt, mit 1 passus = 5 Fuß = 1,48 m (Dilke 1991). Für die Umrechnung der Ergebnisse antiker Gradmessungen sind aus der Vielzahl der antiken Stadienmaße das o. g. babylonisch-persische Stadion = 198 m, das „Zehntelmeilenstadion“ = 300 babylonische Ellen = $^1/_{10}$ römische Meile = 148 m und das Römische Stadion (Stadium Italicum) = $^1/_8$ römische Meile = 185 m von besonderer Bedeutung, aber auch der auf der ägyptischen Norm beruhende Wert von 300 Königsellen = 158 m (Stadion des Eratosthenes), s. [2.1].

2.2.2 Von Eratosthenes bis Ptolemaios: Erste Resultate

Mit den Namen Eratosthenes, Strabon, Marinos aus Tyros und Ptolemaios erreichen wir Höhepunkte in der frühen Erdmessung und kartographischen Erfassung der bewohnten „Welt“. Aufgebaut wird dabei auf den in der Astronomie und Geometrie gelegten Grundlagen, wobei in der Geometrie durch Euklid eine bahnbrechende Entwicklung eingetreten ist.

Eukleides (lat. Euklid) fasst in seinem 13-bändigen Hauptwerk „Elemente“ (um 300 v. Chr.) die bisherigen Erkenntnisse der Mathematik einschließlich der für die Geodäsie bedeutsamen Geometrie zusammen und liefert so das theoretische Gerüst für die jetzt sich entwickelnde wissenschaftliche Geographie. Die „Elemente“ bleiben bis in die Gegenwart eines der am meisten gedruckten Bücher der Wissenschaftsgeschichte (mehr als 1000 Auflagen). Die Euklidische Geometrie beherrscht auch das Vermessungswesen über fast 2000 Jahre, erst mit C. F. Gauß, N. I. Lobatschewski und Johann Bolyai wird in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Erweiterung zur nichteuklidischen Geometrie begonnen (Zimmermann 1980).

Eratosthenes von Kyrene (etwa 275–195 v. Chr.), wegen seiner vielseitigen Begabungen und Interessen auch „Pentathlos“ („Fünfkämpfer“) genannt, ist ein Zeitgenosse des berühmten Mathematikers und Ingenieurs *Archimedes von Syrakus* (287–212 v. Chr.) und steht mit diesem in Verbindung. Er leistet Bedeutendes auf den Gebieten der Geographie, der Astronomie, der Mechanik und der Mathematik, betätigt sich aber auch als Dichter und Historiker. Um 235 v. Chr. wird er zum Direktor der Bibliothek in Alexandria berufen. Im Zusammenhang mit der Erstellung einer neuen Karte der Oikumene ist von ihm erstmals eine Bestimmung des Erdradius nach der *„Gradmessungsmethode“* überliefert. Dabei wird durch geodätische Messungen die Länge eines Meridianbogens bestimmt, während astronomische Beobachtungen den dazu gehörenden Zentriwinkel liefern. Diese Methode wurde bis in das 20. Jahrhundert hinein angewandt, Eratosthenes wird deshalb auch als Begründer der Geodäsie angesehen (Schwarz 1975).

Eratosthenes hat bei seiner Gradmessung die Entfernung (5000 Stadien) zwischen den auf der antiken Nord-Süd-Hauptlinie liegenden Orten Alexandria und Syene vermutlich aus den Angaben von Schrittzählern (Bematisten) des ägyptischen Katasters entnommen. Den zugehörigen Zentriwinkel bestimmte er mit Skaphe und Gnomon. Die Ergebnisse seiner Erdmessung hat Eratosthenes in der verloren gegangenen Schrift „Über die Messung der Erde“ niedergelegt, so

dass die unterschiedlichsten Interpretationen seiner Arbeit existieren. Für den Erdumfang findet sich hiernach bei Strabon nach leichter Aufrundung der Wert von 252 000 Stadien. Bei Annahme eines Stadionmaßes der babylonischen Norm von 148 m ergibt sich der Erdumfang zu 37 300 km anstelle des richtigen Wertes von 40 000 km, die Verwendung der ägyptischen Norm von 158 m führt nahe an diesen Sollwert heran.

Die zur Karte der Oikumene führenden Grundlagen und Erkenntnisse finden sich in dem nur fragmentarisch erhaltenen 3-bändigen Werk „Geographika". Zur Einteilung der bewohnten Erdoberfläche benutzt Eratosthenes weiterhin „Parallelen" zu den oben beschriebenen Ost-West- und Nord-Süd-Hauptlinien, also noch keine durch astronomisch-geographische Koordinaten definierten Parallelkreise und Meridiane. Die Darstellung von Nordwesteuropa geht im Wesentlichen auf die (umstrittenen) Berichte von *Pytheas aus Massalia*, dem heutigen Marseille (um 300 v. Chr.) zurück, der wohl auch Breitenbestimmungen aus Messungen des Sonnenstandes durchgeführt hat. Hier und auch bei späteren Beschreibungen wird das heutige Deutschland als Teil des mittleren und nördlichen Europa ohne jegliche Gliederung dargestellt.

Der Historiker und Geograph *Strabon von Amaseia* (etwa 63 v. Chr.–26 n. Chr.) fasst in seiner fast vollständig erhaltenen umfangreichen *Erdbeschreibung* („Geographika") das geographische Wissen seiner Zeit auf der Grundlage älterer Werke und ausgedehnter eigener Reisen zusammen. Dieses 17-bändige Werk übt bis in das Mittelalter starken Einfluss auf die Geographie aus, es überwiegt jedoch der beschreibende Teil. *Marinos von Tyros* (um 120 n. Chr.) führt dann in seiner auf Eratosthenes aufbauenden Weltkarte die Netzlinien der *geographischen Koordinaten* ein und entwickelt ein geozentrisches System, das durch Zahlenwerte für die Festpunkte – ausgewählte Fixsterne und Punkte auf der Erdoberfläche – definiert wird. Die von ihm eingeführte mittabstandstreue zylindrische Abbildung wird die Standardform der antiken Karte und findet sich auch in den Karten des Mittelalters und der frühen Neuzeit. Hierbei werden die Bogenlängen in Breite und Länge rechtwinklig abgetragen, die Netzmaschen erhalten so eine quadratische Form (quadratische Plattkarte).

An Marinos von Tyros knüpft *Klaudios Ptolemaios* (Claudius Ptolemaeus; ca. 100–160 n. Chr., die Jahreszahlen variieren erheblich) an. Er bestimmt das geographische Bild der Erde bis in die frühe Neuzeit, wobei nun wieder die mathematischen Grundlagen der Geographie betont werden (Simek 1992). Ptolemaios verfasst eine auf der griechischen Geometrie und der Physik des Aristoteles sowie auf eigenen Beobachtungen aufbauende systematische Darstellung der Astronomie (*„Mathematiké Syntaxis"*, später arabisiert „Almagest") einschließlich eines auf Hipparchos zurückgehenden Sternkatalogs (über 1000 Sterne) und schreibt damit das geozentrische Weltsystem des Aristoteles fest (Abb. 2.8). Die 8 Bücher der

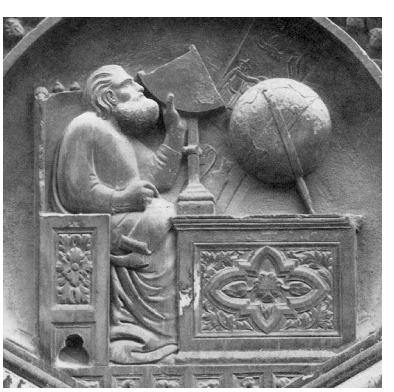

Abb. 2.8. Ptolemäus mit Quadrant. Relief am Dom zu Florenz, um 1300

„Geographike hyphegesis“ („Explicatio geographica“ – „Geographische Anleitung“, kurz „Geographie“) enthalten über 8000 Ortsangaben (einschließlich Flussmündungen, Bergen usw.) mit Breite und Länge (bezogen auf den Äquator und die „Insulae Fortunatae“, die Kanarischen Inseln) sowie eine Anleitung zum Kartenzeichnen. Dem Werk waren eine Weltkarte (Karte des Eratosthenes in der durch Marinos von Tyros verbesserten Gestalt) und zahlreiche Regionalkarten beigegeben. Da Originalkarten nicht erhalten sind, stützt sich unser Wissen jedoch nur auf die ab Ende des 15. Jahrhunderts gedruckten und auf älteren Unterlagen basierenden Ptolemäus-Ausgaben, s. [3.2.1]. Die „Weltkarte“ überdeckt in der Breite den Bereich von 16°25′S bis 63°N, dabei geht Ptolemäus von einer West-Ost-Erstreckung von 180° aus (Abb. 2.9). Für den deutschen Raum („Magna Germania“) finden wir die älteste Erwähnung der Langobarden, Sachsen und Friesen sowie anderer germanischer Stämme zwischen Rhein und Weichsel wie auch des Sudetengebirges (Abb. 2.10), Mzik (1938).

Zum Unterschied von den 90 n. Chr. eingerichteten römischen Grenzprovinzen Germania Superior (Hauptort Mainz) und Germania Inferior (Hauptort Köln) nannte man das nicht unterworfene Land östlich und nördlich von Rhein, Limes und Donau bis zur Weichsel „Germania Libera“ oder *„Germania Magna“*. Der Name Germania wurde dann im Mittelalter für das Land östlich des Rheins benutzt und hielt sich bis in das 18. Jahrhundert, nun aber mit der Bedeutung „Deutschland“ (Neumann 1997).

Ptolemäus nimmt für den Erdumfang nach *Poseidonius von Apameia* (um 115–51/50 v. Chr.) den Wert von 180 000 Stadien an, bei der Umrechnung mit dem Römischen Stadion ergibt sich der auch später benutzte zu kleine Wert von rund 33 000 km. Für die Darstellung der gesamten Erde in einer Karte schlägt Ptolemäus schließlich zwei unterschiedliche Kegelprojektionen vor, für die Regionalkarten empfiehlt er weiterhin die quadratische Plattkarte.

Genauigkeitsuntersuchungen der geographischen Angaben des Ptolemaios zeigen, dass die Koordinaten nur zu einem geringen Teil aus astronomischen Messungen stammen können, sondern meist älteren Karten entnommen oder auch aus den Wegstrecken der römischen Itinerarien und aus Seewegen abgeleitet sind. Das führt zu unterschiedlichen Verzerrungen und teilweise erheblichen Fehlern. Außerhalb des Mittelmeerraumes wachsen die Fehler stark an, sie können nach Verschiebung und Maßstabskorrektion in identifizierten Punkten noch 1° bis 2° (entsprechend 100 bis 200 km) betragen (Knobloch et al. 2003).

Im Mittelalter geht die Kenntnis der Werke des Ptolemaios in Westeuropa zunächst verloren, sie werden jedoch durch Übersetzungen in das Arabische und bei Gelehrten in Byzanz bewahrt. Im 15. Jahrhundert mit der Renaissance wieder entdeckt, bestimmt das Werk des Ptolemäus dann das Weltbild des Spätmittelalters und der frühen Neuzeit, s. [3.2.1], [3.2.2].

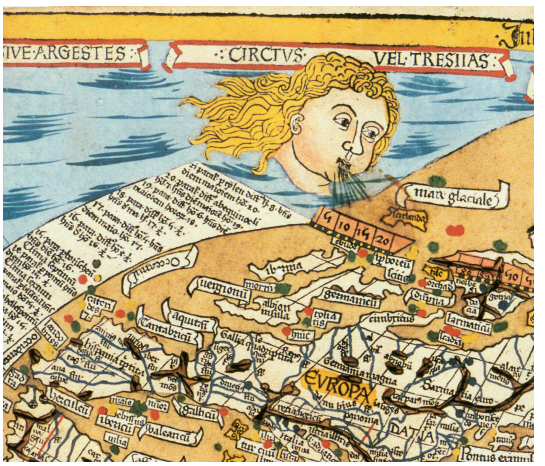

Abb. 2.9. Ptolemäus-Weltkarte, Ausschnitt „Germania magna“, Ulm 1482

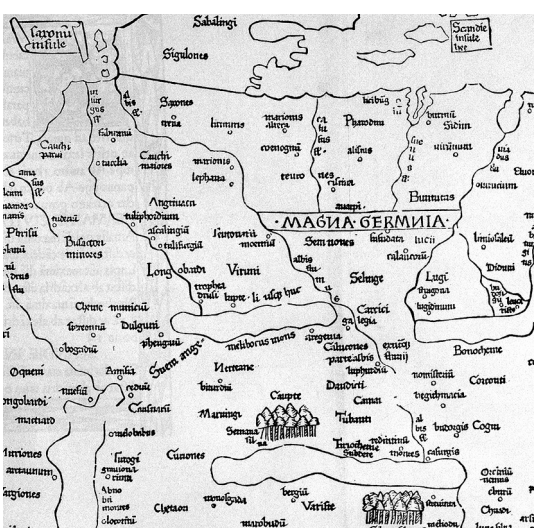

Abb. 2.10. Ptolemäus: „MAGNA GERM[A]NIA“, Tabula antiqua (Ausschnitt), Ulm 1482

2.3 Die praktische Landvermessung im Imperium Romanum

Nach der Gründung Roms (um 750 v. Chr.) und der Einigung Italiens unter Roms Führung breitet das Römische Reich sich vom Ende des 3. Jahrhunderts v. Chr. an rasch auch über den östlichen Teil des Mittelmeerraums und damit die alten Zentren astronomischen, geographischen und mathematischen Wissens aus, 146 v. Chr. wird Korinth eingenommen, 47 Alexandria. Von unmittelbaren Schäden bei Kampfhandlungen abgesehen (Brand der Bibliothek in Alexandria) bleibt die hellenistische Wissenschaft von dieser politischen Umwälzung jedoch unberührt und kann sich weiter entwickeln, wie das Beispiel des Ptolemäus zeigt. Die Römer nutzen diese Ergebnisse, konzentrieren sich aber ihrer praktischen Veranlagung entsprechend auf die bei der Verwaltung und Entwicklung des Imperium Romanum notwendigen Vermessungsarbeiten, wobei sie einen hohen Grad an Vollkommenheit erreichen. Die aus etruskischen Ursprüngen weiter entwickelte *Feldmesskunst* erstreckt sich auf die Absteckung der Straßen und von linienhaften Befestigungsanlagen wie des Limes, die Landvermessung (limitatio) bei der Neugründung von Siedlungen und bei den immer wieder vorgenommenen Landaufteilungen sowie die Ingenieurvermessungen bei Bauwerken wie Brücken und Wasserleitungen. Wesentliches Merkmal der allmählich große Teile des Reiches überziehenden Limitationen ist die quadratische Anlage und Unterteilung auf der Grundlage eines rechtwinkligen Achsenkreuzes, das oft nach den Himmelsrichtungen orientiert wird. Die Feldmesser (agrimensores) verwenden dabei Geräte, die zum Teil aus den älteren Kulturen stammen. In der Weiterentwicklung entstehen jedoch Instrumente, die bis in die Neuzeit in Europa teilweise auch im Rahmen von Landesvermessungen benutzt werden (Cantor 1875).

Die wichtigste Quelle für diese Messgeräte und die Messmethoden sind die Bücher Herons und die darauf aufbauenden, in Bruchstücken überlieferten Schriften (50–150 n. Chr.) der römischen Feldmesser, die in mittelalterlichen Abschriften (z. B. „Corpus Agrimensorum Romanorum“) erhalten sind (Grewe 1991).

Heron von Alexandria, genannt der „Mechaniker“, wirkt um Christi Geburt in Alexandrien. Er ist der bedeutendste Techniker des Altertums, auf den eine Vielzahl von Erfindungen und Entwicklungen zurückgeht. Für die Geodäsie bedeutsam sind seine Werke „Metrika“ („Messkunde“) und „Dioptra“ (Zimmermann 1981). In der Metrika wird die Flächenberechnung, die Berechnung von Körpern und die Teilung von Flächen behandelt. Die Dioptra ist – mit entsprechenden Überarbeitungen – ein bis in die frühe Neuzeit benutztes Lehrbuch zur Feldmessung, hier werden neben dem Messgerät Dioptra auch weitere Messinstrumente und Methoden der Positionsbestimmung beschrieben, etwa das Zählen von Radumdrehungen.

In der *„Dioptra“* beschreibt Heron ein vermessungstechnisches Universalinstrument. Es besteht aus einer auf einem Stativ angebrachten in 360° geteilten Kreisscheibe mit Visier, das um eine vertikale und nach Kippung um 90° auch um eine horizontale Achse gedreht werden kann Zum Nivellieren kann das Visier durch eine nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren arbeitende Kanalwaage ersetzt werden (Abb. 2.11). Das Instrument lässt sich als Vorläufer des Theodolits ansehen, über einen praktischen

Einsatz ist nichts bekannt (Ingensand 1992). Für die Standardaufgabe der Absteckung rechter Winkel war die *„Groma“* das wichtigste Gerät der Agrimensoren. Sie besteht aus zwei exzentrisch auf einem Stab sitzenden und sich rechtwinklig schneidenden, horizontal drehbaren Armen, an deren Enden Schnurlote zum Visieren herabhängen (Abb. 2.12). Daneben wurde sicher das mit Dioptern versehene und bereits den Babyloniern und Griechen bekannte starre Winkelkreuz weiter benutzt (Peters 2002). Große Bedeutung für die Straßenvermessung besaßen die Ergebnisse der jedem Landheer zugeordneten *Schrittzähler*, ein mechanischer Distanzmesser wurde durch den Ingenieur und Architekten *Marcus Vitruvius Pollio* (lebte im 1. Jahrhundert v. Chr. zur Zeit des Augustus) entwickelt und beschrieben. Erwähnt wird auch die Konstruktion eines Wegemessers durch Zählung von Radumdrehungen. Die bei den Limitationen auftretenden kürzeren Strecken wurden mit hölzernen *Messlatten* mit Endbeschlägen (z. B. der zehnfüßigen decempeda) gemessen. In geneigtem Gelände finden wir bereits die Staffelmessung, wobei die Horizontale mit der Setzwaage (gleichschenkliges Dreieck mit Lot) festgelegt wurde.

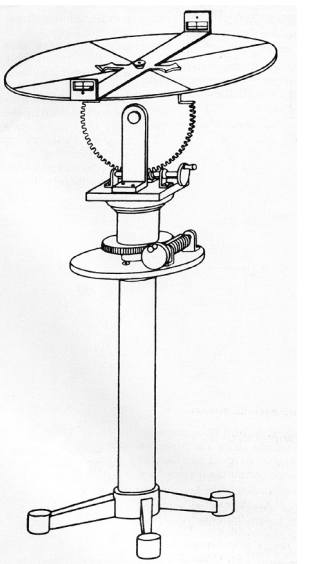

Abb. 2.11. Universalinstrument „Dioptra“ nach Heron von Alexandria (Rekonstruktion)

Reste einer Groma (1. Jhd. n. Chr.) wurden in Pompeji und ein eisernes Original oder das eines Winkelkreuzes am Limes im Kastell Pfünz gefunden, eine Abbildung findet sich in Ivrea auf dem Grabstein eines Landmessers. Eine der größten aufgefundenen Limitationen (über 15 000 km^2) wurde im 1. Jahrhundert n. Chr. von den Agrimensoren der III. Legion Augusta in der Provinz Africa vetus (heutiges Tunesien) angelegt (Decramer 2001).

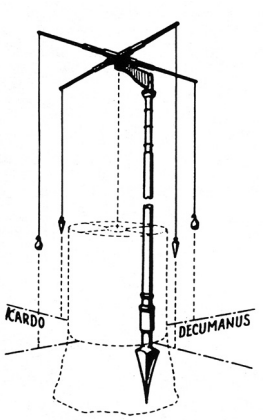

Abb. 2.12. Groma (Rekonstruktion)

Zum *Nivellement* diente neben der Wasserwaage bei den Römern insbesondere der Chorobat, ein 20 Fuß langer drehbarer Stab mit einer Wasserrinne (Abb. 2.13). Auch ein Längsnivellement mit der Kanalwaage und zwei Nivellierlatten wird bei Heron beschrieben.

Die wissenschaftliche Fragestellung nach der *Größe der Erde* wurde bei den Römern nicht weiter verfolgt. Die für die Verwaltung des Reiches und die Heeresbewegungen notwendigen kartographischen Darstellungen stützten sich auf die Straßenvermessungen und die großen Landvermessungen in den Siedlungsgebieten. Großräumige Grundlagenvermessungen sind weiterhin unbekannt und bleiben Spekulation (Minow 1976).

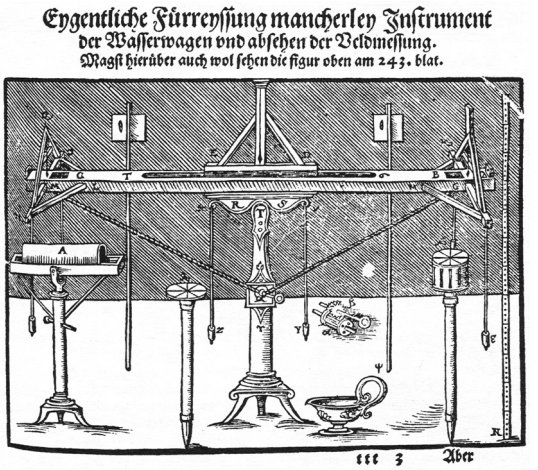

Abb. 2.13. Chorobat (Rekonstruktion), Vitruvius-Ausgabe, Nürnberg 1548

Römische *Straßenkarten* sind nicht im Original erhalten, doch finden sich mittelalterliche Abschriften.

Das umfangreiche römische Straßennetz wurde in den mit Entfernungsangaben versehenen Wegeverzeichnissen (*itineraria scripta*) und den streifenförmig mit unterschiedlichem Maßstab und wechselnder Orientierung angelegten Wegekarten (*itineraria picta*) nachgewiesen. Mit der „Tabula Peutingeriana“ (Peutingersche Tafel) ist eine mittelalterliche Abschrift (11. oder 12. Jahrhundert) einer solchen, vermutlich bis in das 4. Jahrhundert fortgeführten Karte in Rollenform erhalten (Bergmann 1995). Sie ist nach dem Augsburger Ratsherrn und Stadtschreiber *Conrad Peutinger* (1465–1547) benannt, dem die Karte vom Entdecker, dem Wiener Professor und Humanisten *Konrad Celtes* (Bibliothekar Kaiser Maximilians I.) vererbt wurde; mit dem Nachlass des Prinzen Eugen gelangte die Karte 1738 in die Wiener Hofbibliothek. Die Karte enthält ein Straßennetz von mehr als 70 000 römischen Meilen, als Folge der nach der Varus-Schlacht (9 n. Chr.) aufgegebenen Einbeziehung der „Germania Magna“ in das Römische Reich fehlt das rechtsrheinische Germanien. Wenn den Itinerarien auch keine geodätische Grundlage zugrunde liegt, so dürften sie doch in Verbindung mit weiteren Informationen und vielleicht auch zusätzlichen Messungen eine wesentliche Quelle für die „Reichsvermessung“ des Feldherrn *Marcus Vipsanius Agrippa* (63/62–12 v. Chr.) gewesen sein. Diese wurde unter Augustus ab 37 v. Chr. besonders aus strategischen Gründen durchgeführt und führte zu einer Karte des Römischen Reiches (Minow 1986). Die in Marmor gehauene Karte wurde auf dem Marsfeld in Rom aufgestellt; Kopien erhielten alle größeren Städte des Reiches, doch blieb keine dieser Karten erhalten.

3 Überlieferung und Weiterentwicklung: Mittelalter und frühe Neuzeit

Mit dem Ende des Weströmischen Reiches geht das antike Wissen in Westeuropa weitgehend verloren, wenn auch die „agrimensores“ bei der von den neuen Herren vorgenommenen Landaufteilung zunächst noch Beschäftigung finden. Die Erkenntnisse des Altertums werden jedoch in Byzanz und bei den Arabern bewahrt und über die Klöster schließlich wieder zum Bewusstsein gebracht. Dabei spielen im Früh- und Hochmittelalter geodätisch-kartographische Fragen keine Rolle. Im Spätmittelalter entstehen dann im Zuge der Renaissance erste, zunächst auf Ptolemäus aufbauende Deutschlandkarten. Zunehmender Handel und die Ausbildung von Landesherrschaften führen in der frühen Neuzeit zur Herstellung kleinmaßstäbiger Regionalkarten, die oft vom Landesherrn veranlasst oder gefördert werden. Dabei finden nun auch neue Aufnahmen statt, wobei die überlieferten Messgeräte und Verfahren langsam weiter entwickelt werden. Die Bestimmung der Erdfigur ist in dieser Epoche nicht relevant (Bialas 1970).

3.1 Christliches Weltbild und Wissensbewahrung: Früh- und Hochmittelalter

Mit Einsetzen der Völkerwanderung (ab 375 n. Chr.) beginnt der Zerfall des Römischen Reiches. Nach der Teilung des Reiches (395 n. Chr.) finden wir in dem durch Theoderich den Großen (451–526) in Italien gegründeten Ostgotenreich (493–552) noch einmal eine letzte Blüte spätantiker Wissenschaft. Mit der Anerkennung des Christentums durch Konstantin den Großen (Regierungszeit 306/324–337) und der neuen Hauptstadt Konstantinopel (Byzanz) verlagert sich jedoch die Bewahrung antiken Wissens in das *Oströmische Reich*, in dem sich griechische Kultur, römische Tradition und christliche Religion verbinden. Dieses über 1000 Jahre bestehende Reich findet nach einem langen Kampf gegen Araber, Seldschuken und Türken schließlich mit der Eroberung von Byzanz (1453) sein Ende.

Im westlichen Reichsteil tritt im Frühmittelalter mit der Verschmelzung germanischer und römischer Bevölkerungsteile und der Entwicklung des fränkischen Königtums schließlich unter *Karl dem Großen* (Regierungszeit 768–814) eine Konsolidierung mit enger Bindung an das seit dem 5. Jahrhundert an aufgestiegene und als Kirche organisierte Papsttum ein. Das fränkische Reich (Kaiserkrönung Karls im Jahre 800) umfasst nun auch das Gebiet der Sachsen, Langobarden und Bayern. Am Hof Karls des Großen in Aachen setzt eine gezielte Pflege von wissenschaftlichen Studien und des Unterrichts in den „freien Künsten“ ein. Diese umfassen die Astronomie (für die Karl zugleich mit der Astrologie bevorzugtes Interesse zeigt), Musik, Geometrie und

Arithmetik, sie gelten weiterhin als Diener der Theologie. In dieser *„karolingischen Renaissance“* entstehen auch die Klosterschulen, welche zur Bewahrung antiken Wissens wesentlich beitragen.

Mit der Teilung des Reiches (843: Vertrag von Verdun) beginnt unter Ludwig dem Deutschen im Ostfrankenreich die selbständige Entwicklung *Deutschlands*, wobei die Stammesherzogtümer zusammen mit den Bistümern von Anfang an eine wesentliche Rolle spielen. Mit den sächsischen Herrschern Heinrich I. (Regierungszeit 919–936) und Otto I. der Große (Regierungszeit 936–973, Kaiserkrönung 962) entwickelt sich das ostfränkische Reich, das mit der Bezeichnung „Heiliges Römisches Reich“ im Hochmittelalter zur Vormacht im Abendland wird. In der *„ottonischen Renaissance“* fungieren besonders die *Klöster* als Kulturträger, sie übernehmen das wissenschaftliche und literarische Erbe der Antike, soweit es durch die katholische Kirche und durch den Umweg über Byzanz in den Westen gelangt ist. Im Zusammenhang mit dem Fall von Byzanz findet dann im Spätmittelalter eine bedeutsame Vermittlung antiken Wissens statt. Ein anderer Weg des Wissenstransfers führt über die Begegnung mit der *arabischen* Wissenschaft und ihrer Bewahrung des griechisch-römischen Erbes. Dies geschieht hauptsächlich über das mit dem Sieg der Araber unter Tarik über den letzten Westgotenkönig Roderich 711 beginnende und bis zur Eroberung Granadas 1492 andauernde Zusammentreffen des islamischen und des christlichen Kulturkreises in Spanien (1085: kastilische Eroberung des Wissenschaftszentrums Toledo), aber auch über die Kreuzzüge (1095–1291) und die kurzzeitige Verlagerung der Kaiserherrschaft nach Süditalien unter Friedrich II. (ab 1220).

Mit dem Untergang der römischen Zivilisation und dem nur langsamen Herausbilden neuer politischer und kultureller Strukturen im west- und mitteleuropäischen Raum hatte sich das Zentrum der wissenschaftlichen Welt nach Bagdad verlagert, es wird im Jahre 762 Residenz des bis 1258 bestehenden Kalifenreiches. Unter dem Kalifen *Harun ar-Rashid* (Regierungszeit 768–809) werten hier Gelehrte aus dem Nahen Osten und dem östlichen Mittelmeerraum die Ergebnisse der griechischen Ära und weitere Informationen aus und überarbeiten und übersetzen mathematische und astronomische Werke ins Arabische. Der Kalif *Al-Mámûn* (Regierungszeit 813–833) lässt die Bücher des Ptolemäus ins Arabische übersetzen, eine Gradmessung ausführen und ausgedehnte Entdeckungsreisen unternehmen. Aus dem Gradmessungsergebnis von $56\,{}^{2}/_{3}$ arabischen Meilen für einen Breitengrad ergibt sich mit einer arabischen Meile = 4000 Ellen (1 Elle = 49,5 cm) der Erdumfang zu 40 400 km. Der Astronom *Al-Biruni* (973–1048) entwickelt die Methoden zur astronomischen Ortsbestimmung weiter und beschäftigt sich mit der Konstruktion geodätischer Instrumente und dem Entwurf von Kartenprojektionen. Er verfasst auch ein Lehrbuch zur sphärischen Trigonometrie, hier erscheinen die von den Indern übernommenen Winkelfunktionen. Das Astrolab als Winkelmessinstrument mit geteiltem Kreis und drehbarem Diopterlineal (Alhidade) wird zum astronomischen Universalinstrument weiterentwickelt und um 1300 auch in Westeuropa bekannt. Schließlich erfährt auch die Vermessungstechnik für Zwecke der Landmessung (Grenzsicherung) und Ingenieurvermessung eine Weiterentwicklung und die Ausgestaltung zu einer eigenen Disziplin (Minow 1979).

Das mittelalterliche Weltbild selbst ist *christlich* bestimmt – das Mittelalter fasste sich selbst als Übergangszeit zwischen der Erscheinung Christi und dem Ende der Zeiten mit dem jüngsten Gericht auf – und hat keine geodätisch fassbaren Dimensionen (Kaufer 1992). Es zielt nicht auf eine der Realität entsprechende Bestimmung der Erdfigur und die genaue kartographische Darstellung der Erde, sondern versucht die Beobachtungen mit der christlichen Weltordnung in Übereinstimmung zu bringen.

Die geographischen Kenntnisse decken sich zunächst weitgehend mit der Verbreitung der Christenheit, erweitern sich aber später mit den Kreuzzügen und dem Wiederentdecken antiker Quellen. Die Karte dient anfangs der Bibelauslegung und hat heilsgeschichtliche Bedeutung, über das antike Wissen hinausgehende neue Erkenntnisse werden kartographisch nicht zur Kenntnis genommen. Für die Kartographie der Mönche ist die übernommene römische *Rundkarte* – auch Radkarte – typisch. Die „bewohnte" Erde wird dabei – wie aus der Antike bekannt – auf einer scheibenförmigen Karte in T-Form dargestellt, mit den Erdteilen Europa, Asien und Afrika und mit Jerusalem als Mittelpunkt. Die T-Form spiegelt die Kreuzform des Erlösers wieder, es wird also ein Symbol der Erde als Schöpfung Gottes vermittelt (Abb. 3.1). Ein herausragendes Beispiel für eine solche Radkarte ist die zwischen 1230 und 1250 entstandene *Ebstorfer Weltkarte* (gefunden 1830 im Benediktinerinnenkloster Ebstorf südlich von Lüneburg, 1943 im Kriege zerstört, aber wirklichkeitsgetreu wiederhergestellt), die 75 Orte im römisch-deutschen Reich nachweist (Abb. 3.2), Rosien (1952). Daneben finden sich auch in Anlehnung an die Antike von der Kugelform ausgehende *Zonenkarten*, bei denen die Ökumene entsprechend der Bewohnbarkeit in Klimazonen unterteilt wird. Mit dem Aufkommen der auf Ptolemäus basierenden und durch neuere Kenntnisse ergänzten „Gelehrtenkarten" verschwinden die Rundkarten gegen Ende des 15. Jahrhunderts, s. [3.2.1].

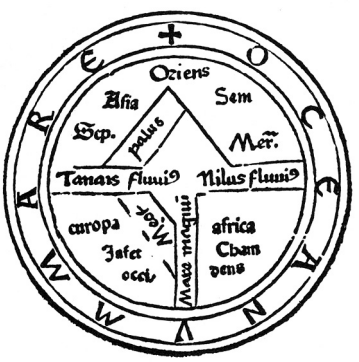

Abb. 3.1. Weltkarte in T-Form. Aus einer Sallust-Handschrift, Venedig 14. Jhd.

Abb. 3.2. Ebstorfer Weltkarte, 13. Jhd.; verkl. Ausschnitt mit Hildesheim, Braunschweig (Löwenfigur), Verden, Bremen

Wenn auch das Wissen um die geodätisch-kartographischen Leistungen des Altertums im Mittelalter über rund 1000 Jahre aus dem allgemeinen Bewusstsein verschwand, so ist doch fest-

zuhalten, dass die antike Erkenntnis von der *Kugelgestalt* der Erde sicher nicht verloren ging (Simek 1992). Das gilt auch für das Wissen in der Astronomie und der Geometrie mit ihren Anwendungen in der Feldmessung.

So ist zwar im frühesten Mittelalter die Ansicht einer scheibenförmigen Erde vereinzelt zu finden und die „heidnisch-antike“ Kugelform wird von einigen Kirchenvätern abgelehnt, etwa von dem afrikanischen Kirchenlehrer *Firmianus Lactantius* (um 250–320) wegen der vermeintlichen Unsinnigkeit antipodischer Zustände. Die Frage der Erdfigur bleibt jedoch weitgehend irrelevant. Der auf vielen Gebieten kenntnisreiche *Gerbert von Aurillac*, der spätere Papst Silvester II. (etwa 940/950–1003) fasst das mathematische Wissen der Zeit in seiner „Geometria“ zusammen und beschreibt auch astronomische Instrumente und Feldmessgeräte, er erkennt die Kugelgestalt der Erde ausdrücklich an. Im Spätmittelalter ist die Kugelgestalt dann unbestritten. Auch die Kirche vertritt nun öffentlich, gestützt auf Argumente aus der Antike, die Kugelform, etwa in dem um 1480 erschienenen Werk „Tractatus de imagine mundi“ des französischen Kardinals *Petrus Alliacus* (um 1350–1420). Die Frage des Erdumfangs wird nun für die maritimen Entdeckungsreisen bedeutsam. Dabei wird häufig der von Ptolemäus angegebene zu kleine Wert benutzt, s. [2.2]; hierauf stützt sich auch *Kolumbus* bei der Vorbereitung seiner Fahrt zur Erkundung des westlichen Seeweges nach Indien (Girndt 1996). Er übernimmt dabei jedoch nicht die Angaben des Ptolemäus, sondern rechnet das Ergebnis der arabischen Gradmessung mit der römischen Meile von 1,485 km in einen Erdumfang von rund 30 300 km um. In Verbindung mit der zu groß angenommenen Entfernung zwischen Spanien und China (nach Ptolemäus) bzw. Japan (nach Marco Polo) führt das zu einer viel zu kleinen Schätzung für den westlichen Seeweg nach Indien (Bialas 1992).

3.2 Von der Gelehrtenkartographie zu ersten Landeskarten: Spätmittelalter und frühe Neuzeit

3.2.1 Die Wiederentdeckung des Ptolemäus und erste Deutschlandkarten: Die Renaissance

Nach dem Tode Friedrichs II. (1250) endet 1254 mit Konrad IV. das universale abendländische Kaisertum der Staufer. Der Zerfall des Reiches im folgenden Spätmittelalter ist mit der weiteren Stärkung der Landesherrschaften und deren Auseinandersetzung mit den Landständen (Adel, Geistlichkeit, Städte) verbunden. Besondere Bedeutung erlangen die zur Königswahl berechtigten Kurfürsten, dies sind zunächst die Erzbischöfe von Mainz, Köln und Trier, der König von Böhmen, der Markgraf von Brandenburg, der Herzog von Sachsen-Wittenberg und der Pfalzgraf bei Rhein. Mit Albrecht II. übernehmen 1438 die Habsburger die Herrschaft in dem bis 1806 währenden „Heiligen Römischen Reich deutscher Nation“ (der Zusatz „deutscher Nation“ gilt seit dem Wormser Reichstag 1495). Damit vollzieht sich auch politisch der Übergang in die Neuzeit, deren Beginn auf die Entdeckung Amerikas (1492) durch Christoph Kolumbus (1451–1506) datiert wird.

In der Renaissance setzt bereits im 14. Jahrhundert eine Wiederbesinnung auf die alten Kulturen ein. Mit der Wissensübertragung durch die Araber und dem Wissenszufluss aus Byzanz, ausgelöst durch die lange vor der Eroberung durch die Türken einsetzende Fluchtwelle von Gelehrten, werden die Werke des Ptolemäus und das auf ihn und Aristoteles zurückgehende geozentrische Weltsystem bekannt. Die Naturwissenschaften lösen sich nun allmählich von der Theologie, es beginnt eine wieder wissenschaftliche Betrachtungsweise der Natur. Das zunehmende Interesse an der Geographie und der kartographischen Erfassung der Erde wird durch die im 15. Jahrhundert mit Heinrich dem Seefahrer (1394–1460) einsetzenden europäischen Entdeckungsreisen weiter gefördert. Großräumige Erdbeschreibungen werden durch den zunehmenden Fernhandel mit weiten Transporten zu Lande und zu Wasser notwendig.

Mit den ersten Welt- und Erdteilkarten und den nach römischem Vorbild entworfenen Wegekarten entwickeln sich vom 14. Jahrhundert an kartographische Aktivitäten unterschiedlicher Art. Diese nun wieder die Realität wiedergebenden Karten beruhen auf sehr einfachen geometrischen Grundlagen, über die wenig bekannt ist. Grundlage bilden zunächst die Angaben des Ptolemäus, sie werden durch meist in Klöstern zusammengestellte Ortslisten und neuere Reisebeschreibungen ergänzt und verbessert. Dabei spielen die in Itinerarien festgehaltenen Meilenabstände zwischen wichtigen Orten eine bedeutende Rolle, astronomische Ortsbestimmungen werden nur selten vorgenommen. Ab Ende des 15. Jahrhunderts entstehen dann in vermehrtem Umfang Karten einzelner Regionen, insbesondere auch von Mitteleuropa und Deutschland (Neumann 1997). Für die Kartographie und die Verbreitung von Karten werden die technischen Errungenschaften des 15. Jahrhunderts – der Holzschnitt (um 1400), der Kupferstich (um 1420) und der Buchdruck (1445) – von entscheidender Bedeutung, s. [3.2.3].

Die im 15. Jahrhundert europaweit bekannt werdenden Werke des *Ptolemaios*, s. [2.2.2], bestimmen das Weltbild der frühen Neuzeit bis zu Copernikus und Kepler. Das gilt sowohl für die Stellung der Erde im Raum und die Bewegungen der Himmelskörper als auch für die Dimension der Erde und die geographische Beschreibung der Welt. Nachdem der Almagest bereits im 12. Jahrhundert aus dem Arabischen ins Lateinische übersetzt worden ist, folgt ca. 1409/1410 die Übersetzung der „Geographie“ vom Griechischen ins Lateinische durch Jacopo Angolo da Scarperia; er widmet das Werk nacheinander den Päpsten Gregor XII. und Alexander V. Gegen Ende des 15. Jahrhunderts finden wir gedruckte Ausgaben in Italien. Eine erste deutsche Ausgabe erscheint 1482 in Ulm, sie enthält 27 „Tabulae antiquae“ und mehrere „Tabulae modernae“ (Abb. 3.3). Erstere geben den Stand des 2. Jahrhunderts n. Chr. nach Ptolemäus wieder, letztere den ergänzten und verbesserten aktuellen Stand des 15. bzw. 16. Jahrhunderts. Bis zum Ende des 16. Jahrhunderts wird das Werk in vielen Auflagen gedruckt.

Gegen Ende des Mittelalters entstehen eigenständige kleinmaßstäbige Karten des mitteleuropäischen Raumes, typische Vertreter sind die „Cusanus“- und die „Etzlaub“-Karten:

- Die um 1450 entstandene „Deutschlandkarte“ des Humanisten *Nicolaus Cusanus* (Nikolaus von Kues, 1401–1464) charakterisiert den Beginn der Entstehung von „*Ger-*

Abb. 3.3. Deutschlandkarte nach Ptolemäus, Tabula moderna (verkl. Ausschnitt). Ringmann und Waldseemüller, Straßburg 1520

mania-Karten" (das sind Übersichtskarten des alten Deutschen Reiches) nach dem Vorbild und in starker Anlehnung an Ptolemäus, sie leitet gleichzeitig die *„Gelehrtenkartographie"* der folgenden mehr als 100 Jahre ein (Meurer 1989).

Cusanus ist einer der bedeutendsten Universalgelehrten der Frührenaissance, Kirchenrechtler und Naturwissenschaftler, 1448 Kardinal und 1450 Erzbischof von Brixen. Er befasst sich u. a. mit astronomischen Beobachtungen und äußerst Gedanken zur Bewegung der Erde.

Die Karte (Maßstab etwa 1:7 Mill.) umfasst das Gebiet Mitteleuropas und stellt Ortschaften, Gebirge und Flüsse sowie ein trapezförmiges Kartennetz dar, was auf eine Kegelabbildung schließen lässt (Mesenburg 1995). Leider ist die Karte weder im Original noch in einer authentischen Kopie erhalten, der Eichstätter Kupferstich (1491) wird meist als das dem Original am nächsten kommende Exemplar betrachtet (Abb. 3.4). Der Vergleich von identifizierten Orten mit heutigen Positionen ergibt nach Beseitigung erheblicher Verschiebungen und Verzerrungen eine mittlere Unsicherheit von etwa 10 km.

- Die um 1492 aus Anlass des „Heiligen Jahres" 1500 entstandene Romwegpilgerkarte (*„Das ist der Romweg von meylen zu meylen mit puncten verzeychnet von eyner stat zu der anderen durch deutsche lantt"*) des Nürnberger Kompassmachers, Feldmessers und Arztes *Erhard Etzlaub* (um 1460–1532) im stark schwankenden Maßstab von etwa 1:6 Mill. (Holzschnitt) ist ein Beispiel für die im Mittelalter nach dem Vorbild der römischen Itinerarien sicher vorhandenen Straßenkarten (Abb. 3.5). Diese lassen sich