EUROPA WÄCHST ZUSAMMEN

6. Symposium zur Vermessungsgeschichte



Herausgegeben von Hartwig Junius und Kurt Kröger



Vermessungswesen bei Konrad Wittwer Band 30 Band 23 Schriftenreihe des Förderkreises Vermessungstechnisches Museum e.V.

Europa wächst zusammen

6. Symposium zur Vermessungsgeschichte in Dortmund am 12. Februar 1996

im Museum für Kunst und Kulturgeschichte

Herausgegeben von Hartwig Junius und Kurt Kröger

Veranstalter:

Förderkreis Vermessungstechnisches Museum e.V. Museum für Kunst und Kulturgeschichte

> 1996 Verlag Konrad Wittwer Stuttgart



ISBN 3-87919-199-9

Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck und Vervielfältigung in irgendeinem technischen Medium, Speicherung in elektronischen Datenverarbeitungsanlagen sind ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Verlages untersagt.

© Verlag Konrad Wittwer GmbH, Stuttgart 1997

Herstellung: Gulde-Druck GmbH, Tübingen

Printed in Germany

Zum Geleit

Europa wächst zusammen war nicht nur ein euphorisch gemeinter Titel des 6. Dortmunder Symposiums zur Vermessungsgeschichte, in dem die Hoffnungen und Wünsche eines geeinten Europas zum Ausdruck kommen sollten. Vielmehr sollte den Spuren nachgegangen werden, die weit vor den politischen und wirtschaftlichen Verträgen von Rom und nicht zuletzt von Maastricht unser Denken verbinden.

Bereits 1790 ging von Frankreich die Idee aus, ein einheitliches Maßsystem zu schaffen. Die Erde selbst sollte als Maßstab dienen: ein Meter sollte dem zehnmillionsten Teil des Erdmeridianquadranten entsprechen. Auf die Schwierigkeiten, die mit der Bestimmung des Meters verbunden waren, soll hier nicht näher eingegangen werden. 1799 wurde per Gesetz in Frankreich das neue Maß eingeführt.

Als das Deutsche Reich 1875 der internationalen Meterkonvention beitrat, verloren 3000 alte Landmaße ihre Gültigkeit. Ähnliches geschah in den anderen europäischen Staaten, die sich dem metrischen System anschlossen. Der preußische General Johann Jacob Baeyer war es, der 18961 in einer Denkschrift den Entwurf zu einer mitteleuropäischen Gradmessung vorlegte. Seinen Gedanken lag die Erkenntnis zu Grunde, daß nur durch ein länderübergreifendes Vermessungssystem die Größe und Figur der Erde exakt bestimmt werden könne. 1867 wurde in Berlin die wissenschaftliche Organisation Europäische Gradmessung gegründet, die Helmert schließlich zur Internationalen Erdmessung erweiterte. Wissenschaftliches und organisatorisches Zentrum war das Geodätische Institut in Potsdam.

Diese beiden Beispiele sollen aufzeigen, in welcher Weise und wie tiefgreifend Geodäten an dem Prozeß eines einheitlichen Bezugssystems für Maß, Gewicht und Zeit und der Definition der Gestalt unserer Erde mitgewirkt haben und bis in die heutige Zeit beteiligt sind.

Daß der Weg zu einem einheitlichen System hinsichtlich der Kartengrundlagen, der Höhendefinition und sonstiger Daten noch durch zähe Verhandlungen geebnet werden muß, ist unter Fachleuten unstrittig.

Die Vorträge des 6. Dortmunder Symposiums weisen eine Richtung, die erkennen läßt, daß auch in diesem Gebiet eine europäische Einigung in Sicht ist.

In einer Unterhaltung mit Eckermann sagte Goethe 1828: Deutschland sei ... eins in Gewicht und Maß, in Handel und Wandel und hundert ähnlichen Dingen... Wenn wir für Deutschland Europa setzen, bleibt Goethes Ausspruch bis heute aktuell - wie das Thema des 6. Dortmunder Symposiums 1996.

Allen Referenten sei Dank gesagt für ihre engagierten Vorträge, die hiermit der Fachwelt vorgelegt werden.

Kurt Kröger

Dortmund, den 12. März 1996

Normung von Maß, Zeit und Gewicht: Vom deutschen Zollverein bis zur Physikalisch-Technischen Bundesanstalt.

Dieter Hoffmann, Potsdam

"Die Klage über die so sehr große Verschiedenheit in dem Maß- und Gewichtssystem der Volksstämme ist so alt und laut, daß der Wunsch, einer Vereinfachung dieser Systeme ebenso gerecht war, als groß und beglückend die Zeitepoche, welche diese Vereinfachung erzeugte, werden mußte" Diese Feststellung eines Zeitgenossen des beginnenden 19. Jahrhunderts macht uns bewußt, daß wir bei aller Selbstverständlichkeit, mit der wir heute davon ausgehen, im Alltag und Berufsleben, im Handel und der Industrie genauso wie in Wissenschaft und Technik ein einheitliches Maß- und Gewichtssystem zu verwenden, nicht vergessen sollten, daß dies ein Ergebnis langer Bemühungen und insbesondere die Frucht des vergangenen Jahrhunderts war. Bis weit ins 19. Jahrhundert hinein herrschte gerade in Deutschland im Bereich der Maße und Gewichte ein verwirrendes Durcheinander - beispielsweise waren damals, zu Beginn des 19. Jahrhunderts, allein in Baden 112 Ellen, 92 verschiedene Flächen- und Feldmaße sowie 65 unterschiedliche Pfundgewichte in Gebrauch. Es ist also keineswegs verwunderlich, daß es nachhaltige Bestrebungen gab, die lästige und den ökonomischen Austausch hemmende Verschiedenheit der Maße zu beseitigen und das Meßwesen generell zu vereinheitlichen. Wichtige Impulse in Richtung auf eine zeitgemäße Vereinheitlichung und staatliche Sicherung des Maß- und Gewichtswesens hatte bereits die Französische Revolution mit der gesetzlichen Einführung des sogenannten Metrischen Systems gegeben und diese Impulse wurden auch in Deutschland aufgenommen - insbesondere in den süd-westdeutschen Staaten. So führte im Jahre 1806 das Königreich Württemberg eine gesetzlich verbindliche Maß- und Gewichtsordnung ein, die zwar nicht die metrischen Einheiten aufgriff, doch erstmals die älteren Maße und Gewichte mit Gesetzeskraft staatlich kodifizierte. Als nächster deutsche Teilstaat gab sich drei Jahre später (1809) das Königreich Bayern eine Maß- und Gewichtsordnung, die ebenfalls die bisher üblichen Maßeinheiten im wesentlichen fortschrieb, aber bereits eine zentrale Maßaufsicht vorsieht, die durch die Münzkommission in München wahrgenommen werden sollte.

Sehr viel fortschrittlicher im Sinne der Moderne fielen die Bemühungen Badens aus, deren im Jahre 1810 verabschiedete Maß- und Gewichtsreform grundsätzliche Reformen und eine radikale Neuordnung vorsahen. Radikal in dem

M. Streiter: Das wahrscheinlich der teutschen Nation angehörende Urmaß. Frankfurt am Main 1810

Sinne, als man bemüht war, die lokalen Maßeinheiten an das französische metrische System anzuschließen, wobei man sich aber zu dessen vollständigen Übernahme noch nicht entschließen konnte. Vielmehr wählte man einen Kompromiß, der zwar die dezimale Unterteilung nach französischen Vorbild vorsah, sich aber bei Größenordnung und Bezeichnungsweise an traditionelle und im Volk verankerten Bezeichnungen hielt und so den Fuß mit 30 cm und das Pfund mit 500 g als Basiseinheiten für Länge und Gewicht wählte. Trotz aller Kompromisse besaß Baden im Eichwesen für viele Jahrzehnte eine Vorbildfunktion und seine Maß- und Gewichtsordnung stand mehrfach zur Einführung in ganz Deutschland zur Diskussion.

Fast alle deutschen Teilstaaten reformierten durch entsprechende Verordnungen bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts ihr Maß- und Gewichtswesen in ähnlicher Weise. (Vgl. Abbildung 1) Preußen beispielsweise gab sich eine solche im Jahre 1816.2 Daß die Bemühungen um eine Vereinheitlichung des preußischen Meßwesens gerade 1816 zum Erfolg führten, darf keineswegs als Zufall angesehen werden. Einerseits verlangte gerade der in dieser Zeit durch die Vervollkommnung des Verkehrs mächtig emporstrebende Handel, wie auch der Prozeß der einsetzenden industriellen Revolution, gebieterisch nach einheitlichem Maß und Gewicht; parallel dazu war

Maß- und Gewichtsordnungen in Deutschland				
1806	Württemberg			
1809	Bayern			
1810	Baden			
1816	Preußen			
1817	Hessen			
1836	Hannover			
1837	Braunschweig			
1851 Nassau				
1858	Sachsen			
1859	Holstein			
61868	Mecklenburg			

Abb. 1

infolge der napoleonischen Kriege in Preußen - wie in Deutschland überhaupt ein beschleunigter Prozeß der Modernisierung von Staat und Gesellschaft in Gang gesetzt worden. Die Stein-Hardenbergschen Reformen hatten zu einer tiefgreifenden Umgestaltung des preußischen Staatswesens geführt und jene Fundamente für den neuen preußischen Staat gelegt, auf dem er dann mehr als ein Jahrhundert ruhen sollte. Wichtiger Bestandteil dieses gesellschaftlichen Modernisierungschubes waren ohne Zweifel die Bemühungen, auch in Preußen eine flächendeckende Unifikation des Meßwesens herbeizuführen. Hierüber hatten weitsichtige Wissenschaftler, Ökonomen und Staatsmänner schon seit längerem intensiv nachgedacht - so hatte bereits im Jahre 1798 der Berliner Ingenieur und Direktor der preußischen Oberbaudirektion Johann

U. Kern: 175 Jahre preußische Maß- und Gewichtsordnung. PTB-Mitteilungen 101(1991) 2, 109-113

Albert Eytelwein "auf höhere Veranlassung" Untersuchungen durchgeführt, die die in den ... preußischen Staaten eingeführten Maaße und Gewichte, mit Rücksicht auf die vorzüglichsten Maaße und Gewichte in Europa verglichen.³

Die schließlich 1816 verabschiedete preußische Maß- und Gewichtsordnung legte den Schwerpunkt auf die praktische Durchsetzung einer flächendeckenden Unifikation der Maße, wogegen eine grundlegende Reform - beispielsweise in Hinblick auf die Einführung des metrischen Systems oder auch nur einer dezimalen Unterteilung der Einheiten - unterblieb. 4 Durch die Festlegung des preußischen Fußes, wie nun der bereits im Jahre 1773 gesetzlich eingeführte sogenannte Rheinische Fuß genannt wurde, und seiner traditionellen Unterteilung in 12 Zoll zu 12 Linien (wobei eine Linie etwa zwei Millimeter entsprach) muß die preußische Verordnung - im Vergleich zu den Regelungen anderer deutscher Länder - als in hohem Maße konservativ eingeschätzt werden. In auffälligem Kontrast dazu stehen aber jene Teile der Verordnung, die sich auf die institutionelle bzw. verwaltungstechnische bzw. wissenschaftliche Sicherung der Maßeinheiten beziehen. Mit letzteren, und eben nicht mit der Festlegung der Maßeinheiten beginnt dann auch - ganz im Gegensatz zu den Texten anderer Länder - der Text der preußischen Verordnung. Der Paragraph 1 bestimmt, daß nach beiliegender Anweisung ein Satz von Probemaßen und Gewichten unter der Aufsicht einer Kommission von Sachverständigen verfertigt, und bei unserem Ministerium der Finanzen und des Handels aufbewahrt werden. Diese Probemaße und Gewichte sind fortan die einzig authorisierten Originale von Maaßen und Gewichten für unsere sämtlichen Staaten.⁵ Darüber hinaus wurden drei weitere Maß- und Gewichtssätze bei der Haupt-Baudeputation, dem Berliner Kammergericht und - last but not least - bei der Berliner Akademie der Wissenschaften deponiert, wobei festgelegt war, mindestens alle zehn Jahre die Übereinstimmung dieser Exemplare zu überprüfen.

Im Sinne der Moderne legte die Preußische Maß- und Gewichtsordnung noch etwas anderes fest, das in seinen wesentlichen Zügen bis heute Bestand hat. Es wurde nämlich verfügt, in den einzelnen Regierungsdepartements (d.h. den Regierungsbezirken) Eichkommissionen einzurichten und mit Probe-Maßen und -Gewichten auszustatten. Diese regionalen Kommissionen sollten wiederum die Eichämter in den verkehrsreichsten Städten mit den ent-

J.A. Eytelwein: Vergleichung der gegenwärtigen und vormals in den königlich preußischen Staaten eingeführten Maaße und Gewichte. Berlin 1978.

Maaß- und Gewichtsordnung für die Preußischen Staaten vom 16. Mai 1816.

⁵ Ebenda

sprechenden Maß- und Gewichtssätzen versorgen. Damit war der Aufbau einer metrologischen Infrastruktur festgelegt, die bis in unsere Tage in ihren wesentlichen Zügen bewahrt blieb; im übrigen sah die Verordnung auch eine metrologische Zentralbehörde in Gestalt der sogenannten "Kommission der Sachverständigen" vor, wobei diese insbesondere die Arbeit der regionalen Eichkommissionen anzuleiten bzw. zu beaufsichtigen und den Vergleich sowie die Herstellung der preußischen Urmaße zu betreuen hatte.

Die Kommission der Sachverständigen, wie sie in den ersten Jahren entsprechend dem Gesetzestext genannt wurde, setzte sich aus Fachleuten zusammen, die aus dem Bereich des technischen Staatsdienstes, der Naturwissenschaften (vor allem der Astronomie) und der Präzisionsmechanik stammten - eine Dreiecksbeziehung, die für das Eichwesen des 19. Jahrhunderts insgesamt typisch zu nennen ist. Erster Direktor wurde der Oberbergrat Gerhard Schaffrinsky, der sich durch die Verbesserung von Präzisionsmeßgeräten einen Namen gemacht hatte. Weiter gehörten der Kommission der Berliner Mechaniker Karl Pistor, der Physiker Paul Erman, der Mathematiker August Leopold Crelle und der Direktor der preußischen Oberbaudeputation Johann Jacob Eytelwein an. Letztere drei waren Mitglieder der Berliner Akademie der Wissenschaften, was auf den hohen wissenschaftlichen Rang der Mitglieder der Kommission hinweist - ein Charakteristikum, das für die Eichbehörden der meisten anderen deutschen Staaten so nicht zutrifft und eine weitere Pionierrolle Preußens auf dem Gebiet der Entwicklung der modernen Metrologie ausmacht.

Aber nicht nur im Rang der Mitglieder der Sachverständigen-Kommission dokumentiert sich der wissenschaftliche Impetus der Preußischen Maß- und Gewichts-Ordnung. Er zeigt sich auch in zwei anderen Aktivitäten jener Zeit. So kam durch die Vermittlung keines geringeren als Alexander von Humboldt sowohl ein Kilogramm- als auch ein Meter-Prototyp von Paris nach Berlin. In einem entsprechenden Brief des Preußischen Ministeriums der Finanzen und des Handels vom 12. September 1816 an den damals in Paris lebenden Humboldt lesen wir: Bei der hier bevorstehenden Einführung einer neuen Maasund Gewichts Ordnung und der Fertigung der Normalmaaße ist es von der größten Wichtigkeit, französische Masstäbe zu haben, deren Richtigkeit durch eine sorgfältige Prüfung der Pariser Akademie beglaubigt werden. Die hier vorhandenen sind Copien von Copien und unter sich wesentlich verschieden. Ein Jahr später, im Oktober 1817, meldete Humboldt den Vollzug des Auftrags und die Übergabe eines Meter- und Kilogramm-Prototyps aus Platin - ersterer gewiß bis auf 1/1000 einer Linie genau. Zusammen mit den Platin-Prototypen

Ministerium der Finanzen und des Handels an A.v. Humboldt, 12.9.1816. Bundesarchiv Dahlem (Geheimes Preuβisches Staatsarchiv) Rep. 120, A IX, I, Nr. 2, Vol. 1, Bl. 4

hatte Humboldt in Paris auch noch Prototypen aus Kupfer herstellen lassen, damit der metre und das kilogramm von Platina weniger oft belastet wird ... diese kupfernen Maaße und Gewichte sind zu gemeinerem Gebrauche bestimmt und minder vollkommen ausgeführt.⁷ Mit Hilfe der aus Paris importierten Prototypen fanden dann in der ersten Hälfte der zwanziger Jahre Vergleichsmessungen von preußischem Normalpfund und Kilogramm durch Schaffrinsky und von preußischem Fuß und Meter durch die Kommissionsmitglieder Schaffrinsky und Pistor statt. Johann Albert Eytelwein dokumentierte schließlich 1825 die Ergebnisse in den Abhandlungen der Akademie.⁸

In Ergänzung zu diesen Maßnahmen wurde in einer Anweisung zudem verfügt: Damit aber die Größe des preußischen Fußmaaßes, worauf die übrigen Maße und Gewichte gegründet sind, unabhängig von jedem anderen Maaße, auf einem Urmaaße beruhe, welche zu allen Zeiten bei entstehenden Zweifeln wieder erlangt werden kann, so soll nach Vollendung der Beobachtung über die Sekunden-Pendul-Länge von Berlin diese und ihr Verhältnis zum preußischen Fuß bekannt gemacht werden.9 Diese Verfügung bedeutet nicht weniger, als die preußische Längeneinheit an ein Naturmaß bzw. eine fundamentale physikalische Größe (Erdbeschleunigung) anzuschließen - eine Maßnahme, die gerade auch vor dem Hintergrund der heutigen Entwicklungen in der Metrologie besonders hoch zu bewerten ist, zumal sie im damaligen Deutschland keine Entsprechung besaß. Mit der Realisierung dieser Aufgabe wurde im übrigen einer der bedeutendsten Astronomen der Zeit, der Königsberger Universitätsprofessor Friedrich Wilhelm Bessel betraut. Dieser stellte in den Jahren 1834/35 mit einem speziell hierfür konstruierten Pendelapparat umfangreiche Messungen an, in deren Ergebnis der Preußische Fuß an die Länge des Sekundenpendels (für Berlin) angeschlossen wurde. Damit war der preußische Fuß auf ein Urmaß zurückgeführt, welches - wie Bessel selbst schrieb - zu allen Zeiten bei entstehenden Zweifeln wiedererlanat werden könne.10 Der von Bessel hergestellte Urmaßstab, sein Bezug zum Sekundenpendel und ein von ihm ebenfalls entwickeltes Verfahren zur Herstellung von Kopien erlangten im Jahre 1839 Gesetzeskraft, wobei es anzumerken gilt,

A.v. Humboldt an Min. der Finanzen und des Handels, 24.10.1817. Ebenda, Bl. 14.

J.A. Eytelwein: Über die Prüfung der Normal-Maaße und Gewichte für den königlich-preußischen Staat und ihre Vergleichung mit den französischen Maaßen und Gewichten. Abhandlungen der Physikalisch-Mathematischen Klasse der Preußischen Akademie der Wissenschaften. Berlin 1828.

Acten der Normal-Eichungskommission. PTB-Archiv Berlin

F.W. Bessel: Ueber Mass und Gewicht im Allgemeinen und das Preussische Längenmaβ im Besonderen. In: F.W. Bessel: Populäre Vorlesungen. Hamburg 1848, S. 284.

daß dieses Gesetz drei Jahrzehnte Bestand hatte und erst mit der Einführung des metrischen Systems aufgehoben wurde. Obwohl Bessel mit dem erzielten Ergebnis keineswegs zufrieden war, fand die erreichte Genauigkeit national wie international große Anerkennung. So befand der Chronist des deutschen Meßwesens Johann Friedrich Hauschild im Jahre 1861, daß den wissenschaftlichen Anforderungen an das Längenmaß wohl noch in keinem Staate in einer solchen Vollkommenheit entsprochen worden (sei), als es in Preußen durch Bessels meisterhafte Darstellung des preußischen Fußes geschehen ist¹¹; der Leiter der Sternwarte in Greenwich und Verantwortliche für das britische Maß-und Gewichtswesen, Sir George B. Airy, erklärte: The most celebrated of the standards constructed in modern times is the Prussia standard made by the late astronomer Bessel.¹²

Wie wir bereits festgestellt hatten, wachte in Preußen eine Kommission der Sachverständigen bzw. die Königlich Preußische Normal-Eichungs-Kommission wie sie sich seit den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts nannte über das rechte Maß und Gewicht. Allerdings erfolgte ihre Tätigkeit in den ersten Jahrzehnten ihres Bestehens höchst sporadisch und eigentlich nur dann, wenn die Lösung von Problemen keine administrativen Maßnahmen sondern wissenschaftliche Untersuchungen erforderte. Unter Adolf Wenzeslaus Brix, seit 1843 Nachfolger des Gründungsdirektors der Kommission Schaffrinsky, zeigte sich eine quantitative wie qualitative Veränderung in Art und Umfang der Kommissionsarbeiten ab, was über mehrere Zwischenschritte zur Etablierung einer fest bestallten Behörde führte - obwohl Brix und die weiteren Kommissionsmitglieder ihre diesbezüglichen Aufgaben weiterhin im Nebenamt vertraten. Zu den wichtigsten Aufgaben in der Amtszeit von Brix, die von 1843 bis zu seinem Tod im Jahre 1870 währte, gehörte die Anfertigung des preußischen Normal- oder Urpfundes, womit zugleich - nachdem im Jahre 1856 der deutsche Zollverein das Zollpfund zu 500 g eingeführt hatte¹³ - der erste direkte Anschluß an das metrische System hergestellt war.

Überhaupt läßt sich feststellen, daß die Gründung des Deutschen Zollvereins im Jahre 1834 nicht nur wichtige Impulse für die Beseitigung der Handelshemmnisse zwischen den deutschen Teilstaaten und letztlich für den politischen Einigungsprozeß in Deutschland brachte, durch ihn wurde auch

J.F. Hauschild: Zur Geschichte des deutschen Maß- und Münzwesens in den letzten sechzig Jahren. Frankfurt a.M. 1861, S. 29.

Airy: Construction of the new natural standard of length. Philosophical Transaction 147 (1857) 235

Vgl. H.-J. Alberti: Mass und Gewicht - geschichtliche und tabellarische Darstellungen von den Anfängen bis zur Gegenwart. Berlin 1957.

eine Entwicklung auf den Weg gebracht, die eine generelle Verständigung über die Erleichterung des Handelsverkehrs durch Verabredungen über ein gemeinsames Maaß-, Gewicht- und Münzsustem herbeiführte, wobei die wichtigste Erleichterung mit der Einführung des sogenannten Zollpfundes in allen Vereinsstaaten im Jahre 1839 verfügt worden war. Die enge Verknüpfung zwischen einer Vereinheitlichung des Maß- und Gewichtswesens in den einzelnen deutschen Teilstaaten und dem Ruf nach politischer Einheit zeigt sich auch in den öffentlichen Diskussionen der Revolutuionszeit von 1848/49, wo Entwürfe und Programme für ein neues Maßwesen in großer Zahl die Aufmerksamkeit von Politik, Wirtschaft und Öffentlichkeit fanden. Neben dem ökonomischen Vorteil würde, wie beispielsweise Johann Friedrich Hauschild damals schrieb, eine Gleichheit in diesen Dingen wiederum ein mächtiges Gefühl der Gemeinsamkeit in allen Deutschen kräftigen und ein inniges Anschließen derselben aneinander befördern. 14 Auch für Brix, Direktor der bereits erwähnten Preußischen Normal-Aichungs-Kommission, war diese Zeit Anlaß genug, im Oktober 1848 einen umfassenden Entwurf für eine Neue Maßund Gewichtsordnung für das vereinigte Deutschland vorzulegen, der über die bislang in dieser Richtung entwickelten Ideen weit hinausging. 15

Das Scheitern der 48er Revolution und die daraus resultierenden gesellschaftspolitischen Entwicklungen führten indes zu einer erneuten Stagnation in den Bemühungen um die Vereinheitlichung der deutschen Maße und Gewichte. Erst die sechziger Jahre brachten in diesem Bereich die endgültige Wende nicht zuletzt vor dem Hintergrund wachsenden ökonomischen Drucks, war die Verschiedenheit der Maße inzwischen nicht nur ein mißlicher, sondern auch die Entwicklung von Handel und die Industrie grundsätzlich behindernder Hemmschuh geworden. So wurde im Januar 1861 auf Initiative der Deutschen Bundesversammlung eine Maß- und Gewichts-Kommission gebildet, die sich aus Bevollmächtigten von 12 Bundesstaaten und den Hansestädten zusammensetzte und die bereits im April desselben Jahres ein ausführliches Sachverständigen-Gutachten vorlegte. Es wies auf die verwirrenden Verhältnisse im deutschen Maß- und Gewichtswesen hin und gab bei Berücksichtigung aller positiven wie negativen Faktoren eine nachhaltige Empfehlung für die Einführung des metrischen Systems. Das Gutachten fand zwar seitens der Bundesversammlung Anerkennung, auch wurde es von allen deutschen Bundesstaaten zumindest prinzipiell gebilligt, doch geschah seitens der Legislative zunächst nichts - die Zunahme der politischen Spannungen zwischen den deutschen Teilstaaten in jener Zeit und schließlich die Kriege von 1864 und 1866 mögen hierfür in erster Linie verantwortlich gewesen sein.

J.F. Hauschild: Zur Geschichte ... a.a.o., S. 34.

Akten der Königlichen-Normal-Eichungskommission. Archiv der PTB, Berlin, Nr. 20

Dennoch waren die Chancen für eine umfassende Maß- und Gewichtsreform für ganz Deutschland besser als je zuvor: Die wissenschaftlich-technischen Voraussetzungen waren geschaffen; die wirtschaftlichen Bedingungen forderten ein solches nachdrücklich und die politische Bereitschaft für eine solche Übereinkunft war in den meisten deutsche Teilstaaten ebenfalls vorhanden. Der Norddeutsche Bund, der nach dem preußischen Sieg über Österreich im Jahre 1866 aus den deutschen Bundesstaaten nördlich der Mainlinie gebildet worden war, schaffte dann endlich die politische Basis für die endgültige Lösung des so lange schwelenden Problems.

Am 17. August 1868 wurde durch den preußischen König Wilhelm - bei Gegenzeichnung seines Kanzlers Otto von Bismarck - die Maß-Gewichtsordund nung für den Norddeutschen Bund verabschiedet. Sie bringt nicht nur erstmalig für den größten Teil Deutschlands eine Vereinheitlichungdes Maßwesens, gleichzeitig erklärt es das Metrische System für gesetzlich verbind-

Deutsche Maßbezeichnungen im metrischen System				
1	Meter	=	1 Stab	
1	Zentimeter	=	1 Neuzoll	
1	Millimeter	=	1 Strich	
10	Meter	=	1 Kette	
1	Liter	=	1 Kanne	
0,5	Liter	=	1 Schoppen	
1	Hektoliter	=	1 Faß	
0,5	Hektoliter	=	1 Scheffel	
50	Kilogramm	=	1 Zentner	
500	Gramm	=	1 Pfund	
10	Gramm	=	1 Neuloth	

Abb. 2

lich. Im Paragraph 1 heißt es: Die Grundlage des Maßes ist das Meter oder der Stab, mit decimaler Theilung oder Vervielfachung. 16 Die neue Maß- und Gewichtsordnung sah keine gesetzliche Regelung für abweichende Landesmaße mehr vor - letztere sollten lediglich als Rechenmaße verwendet werden. Um die Einführung des metrischen Systems zu fördern, erlaubten die Ausführungsbestimmungen des Gesetzes auch die parallele Nutzung deutscher Namen für die metrischen Bezeichnungen - das Meter konnte so auch als Stab oder der Liter als Kanne bezeichnet werden. (Vgl. Abbildung 2) Allerdings war diese Doppelung nur von kurzem Bestand, denn bereits Mitte der siebziger Jahren hatten sich die metrischen Bezeichnungen durchgängig durchgesetzt.

Sammlung von Gesetzen und Erlassen betreffend das Mass- und Gewichtswesen des vormaligen Norddeutschen Bundes und des Deutschen reiches 1868 bis 1872. Berlin 1873., S. 10.

Die Maß- und Gewichtsordnung des Norddeutschen Bundes wurde im übrigen ohne jede Änderung - per Artikel 80.I.11 der Reichsverfassung vom November 1870 - vom neu geschaffenen Deutschen Reich übernommen. Als Urmaß und Urgewicht bestimmten die Artikel 2 und 3 des entsprechenden Reichsgesetzes jenen Platinmaßstab bzw. jenes Platinkilogramm, die durch Humboldt fünfzig Jahre zuvor nach Preußen gebracht worden und die 1863 bzw. 1860 mit den Prototypen in Paris erneut verglichen worden waren und sich im Besitz der Preußischen Normal-Aichungs-Kommission befanden. Letztere wurde im übrigen ebenfalls nahtlos in eine Kaiserliche Normal-Aichungskommission überführt, was nicht nur die politische Dominanz Preußens widerspiegelt, sondern auch dessen führende wissenschaftliche Position in der Metrologie Rechnung trug.

Bei der Aufgabenbestimmung der nunmehrigen Kaiserlichen Normal-Eichungs-Kommission nehmen die vielfältigen Prüfungsaufgaben sowie die Herstellung der Normale naturgemäß einen breiten Raum ein. Darüber hinaus machte ihr gesetzlich festgelegtes Tätigkeitsprofil von Anfang an deutlich, daß die metrologische Forschung nunmehr explizit zum Aufgabenbereich dieser bundesstaatlichen Institution gehören würde. Die Kommission hatte so nicht nur die generelle Eichaufsicht im Deutschen Reich auszuüben, sondern als metrologische Zentralbehörde sich auch wissenschaftlichen Aufgaben zu stellen. Symbolischer Ausdruck dieser Doppelfunktion - sowohl technische Oberbehörde wie metrologisches Staatsinstitut zu sein - ist die Tatsache, daß man ihr die alleinige Aufbewahrung der Urmaße überträgt - bisher waren diese von den Regierungen der deutschen Teilstaaten selbst bzw. durch sie beauftragte Institutionen verwahrt worden.

Folgerichtig war mit Beginn ihrer Inauguration auch ein anerkannter Wissenschaftler, der *Director der Königlichen Sternwarte zu Berlin*, Professor Wilhelm Foerster, zu ihrem Leiter bestellt worden. Foerster gehörte im übrigen zu den entschiedensten Befürwortern des metrischen Systems, was damals in Preußen durchaus keine Selbstverständlichkeit war; zudem waren von ihm auch die entscheidenden Initiativen zur Einrichtung der Kommission ausgegangen. Darüber hinaus paarte sich in der Persönlichkeit von Foerster wissenschaftliche Kompetenz mit einem ausgeprägten Engagement für wissenschaftsorganisatorische und -politische Fragen.¹⁷ Dies sollte gerade für die Profilierung der Normal-Eichungs-Kommission wie für die Entwicklung der Metrologie in Deutschland insgesamt sehr dienlich sein. So ist Foerster nicht nur als ihr wohl bedeutendster Direktor in die Geschichte eingegangen, sondern zugleich auch als derjenige, von dem in den siebziger und achtziger Jahren wichtige Initiativen zur Gründung der Physikalischen-Technischen Reichs-

Vgl. D, Hoffmann: Wilhelm Foerster - Astronom, Wissenschaftsorganisator und Begründer der "Urania". Astronomie und Raumfahrt 21(1983)1, 7-11.

anstalt -der späteren obersten metrologischen Zentralbehörde Deutschlands ausgingen. Nicht zuletzt ist es ihm zu verdanken, daß sich die Kommission in der ersten Hälfte der siebziger Jahre führend an den wissenschaftlichen Verhandlungen und Untersuchungen zur Neubestimmung des internationalen Meter-Prototyps in Paris beteiligt hat. Als es dann im Jahre 1875 zur Meterkonvention und zur Einrichtung des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht kommt, zählt Foerster als Vertreter des Deutschen Reiches zu den 18 Gründungsmitgliedern. Er hat dem Komitee bis zu seinem Tode im Jahre 1921 angehört und zudem das Amt des Präsidenten zwei Jahrzehnte - zwischen 1891 und 1920 - bekleidet; die bislang längste Amtszeit eines Präsidenten dieser Kommission und dies über die politischen Wirren des Ersten Weltkriegs hinweg.

Mit Meterkonvention und Physikalisch-Technischer Reichsanstalt sind zwei Institutionen angesprochen, die bezüglich unseres Themas gerade in den zurückliegenden hundert Jahren von zentraler Bedeutung waren. Die Meterkonvention wurde 1875 unterzeichnet und war das Ergebnis jahrzehntelanger Bemühungen von Wissenschaftlern und Metrologen - darunter des bereits erwähnten Wilhelm Förster sowie des Geodäten Adolf von Baeyer. Ihr Ziel war, die internationale Einigung und die Vervollkommnung des metrischen Systems zu sichern. 18 Der Meterkonvention traten im Jahr ihrer Gründung 18 Staaten bei, heute gehören ihr fast 50 Staaten an. Ihr ursprüngliches Ziel war die Schaffung einer internationalen Organisation zum Vergleich und zur Beglaubigung der Meter- und Kilogramm-Prototypen, zur Aufbewahrung der internationalen Prototypen, zum regelmäßigen Vergleich der einzelnen nationalen Prototypen sowie für die Bestimmung und den Vergleich geodätischer Meßstangen und -bänder sowie anderer Maß- und Gewichtsnormale hoher Präzision. Für diese Aufgaben wurden spezielle Organe geschaffen, deren Zusammensetzung, Arbeitsweise und Zuständigkeit im Gründungsvertrag und seinen nachfolgenden Vereinbarungen und Ausführungsbestimmungen festgelegt sind. Von besonderer Bedeutung ist der gemeinsame Unterhalt eines speziellen Forschungsinstituts, das Internationale Büro für Maß und Gewicht (BIPM), das sich im Park von Saint Cloud bei Paris befindet und dessen wichtigste Aufgabe es ist, die weltweite Einheitlichkeit der physikalischen Einheiten zu gewährleisten, die internationalen Normale für die wichtigsten physikalischen Größen bereitzuhalten und die internationalen Normale zu vergleichen sowie die Werte der physikalischen Konstanten zu bestimmen. (Vgl. Abbildung 3).

Umfaßte der Wirkungsbereich von Meterkonvention und Büro ursprünglich nur die klassischen Größen von Maß und Gewicht, so wurde dies im zurückliegenden Jahrhundert sukzessive erweitert. Heute betreut die Meterkonvention

J. Hoppe-Blank: Vom Metrischen System zum internationalen Einheitensystem. 100 Jahre Meterkonvention. PTB-Bericht ATWD-5, Braunschweig 1975.

Die Organe der Meterkonvention

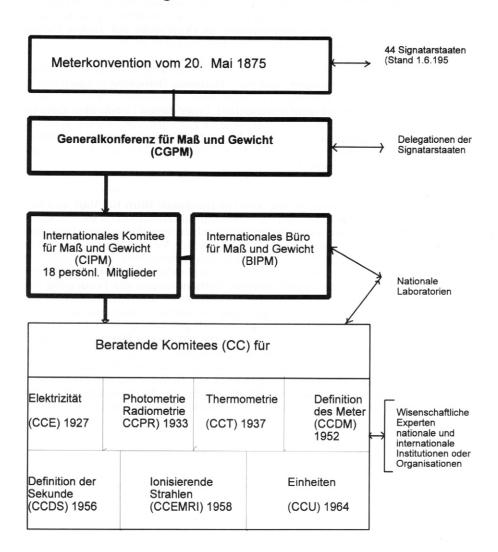


Abb. 3

auch die elektrischen und photometrischen sowie die Temperatur- und Energieeinheiten. Damit, mit der Erweiterung des klassischen Rahmens der Metrologie, sind wir bei der Gründungsgeschichte einer Wissenschaftsinstitution angelangt, der nicht nur in Deutschland die Pionierrolle auf diesem Gebiet zukommt: der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR).

Im letzten Drittel des 19. Jahrhunderts hatten sich Elektrotechnik und Elektroindustrie so weit entwickelt, daß wie - Hermann Helmholtz in einer Denkschrift feststellte - sie jetzt ungeheure Kapitalien in Anspruch nimmt und eine außerordentlich rege Industrie repräsentiert. Unter diesen Umständen kann es nicht fehlen, daß Streitfragen, welche dieselbe betreffen, vor Gerichte kommen und sich die Notwendigkeit fühlbar macht, strittige Fragen gesetzlich zu ordnen, namentlich Maßeinheiten festzustellen, auf welche man bei solchen Entscheidungen zurückgehen kann. 19

Im Unterschied zu den Längen- und Gewichtsmaßen, bei denen durch die Internationale Meterkonvention und das Internationale Büro für Maß und Gewicht Wichtiges geregelt war und für deren Reproduktion man im wesentlichen die damals gebräuchlichen Methoden nur noch zu vervollkommnen hatte, erwies sich die Situation im Bereich des elektrischen Meßwesens sowie auf den anderen - sich meist noch im status nascendi befindenden - metrologischen Gebieten als wesentlich komplizierter bzw. als gänzlich ungeklärt. Die seit Beginn der achtziger Jahre stattfindenden Verhandlungen zur Festlegung der elektrischen Maßeinheiten²⁰ machte nicht nur die Konkurrenz auf diesem Gebiet sichtbar und ließ einige nationale Obertöne hörbar werden, vor allem wurde deutlich, daß man bisher wissenschaftlich gesehen noch nicht über die ersten Anfänge hinausgekommen war, da die bekannten Methoden zur Darstellung der elektrischen Maßeinheiten physikalisch wenig begründet, kaum reproduzierbar und relativ ungenau waren. Hier trat ein neuer Fall von Normierung und Kontrolle zutage, vergleichbar der Normierung von Maßen und Gewichten - die Denkschriften der 80iger Jahren, die dann zur Gründung der PTR führten, griffen insbesondere diesen Handlungszwang auf und thematisierten ihn.21

H. Helmholtz: Über die elektrischen Maßeinheiten. In: Vorträge und Reden, Bd. 2, Braunschweig 1903, S. 293.

Vgl. G. Buchheim: Die Entwicklung des elektrischen Meßwesens und die Gründung der PTR. NTM 14(1977) 16-32.

Vgl. G. Buchheim: Die Gründungsgeschichte der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. Dresdener Beiträge zur Geschichte der Technikwissenschaften, Heft 3/1981; Heft 4/1982.

Da die Bearbeitung solcher Probleme für die an Produktions- und Profitkriterien sich orientierenden Industrielaboratorien, die ja zudem noch in ihren frühen Anfängen steckten, zu umfassend und vor allem kaum rentabel gewesen wären, anderseits die Probleme aber auch nicht - wie Helmholtz in seiner Denkschrift feststellte - durch die zu Unterrichtszwecke gegründeten Laboratorien unserer Universitäten gelöst werden können, weil ihre Bewältigung teils kostbarer Hilfsmittel an Instrumenten und Lokalitäten, teils auch freiere Arbeitszeit erfahrener und urteilsfähiger Beobachter erfordert, als der Regel nach ohne Unterstützung aus öffentlichen Mitteln zu beschaffen sein werden²², wurde ein Ausweg aus diesem meßtechnischen wie forschungspolitischen Dilemma eben in der angestrebten Begründung eines staatlichen Forschungsinstituts gesehen.

Bei der Konzipierung des wissenschaftlichen Programms eines solchen Staatsinstituts, dessen Realisierung trotz aller Schwierigkeiten nun - nach Übernahme der Initiative durch die Elektroindustrie und namentlich durch Werner von Siemens, der zudem schon im Jahre 1883 in einem listigen Akt dem Fiskus ein geeignetes Baugelände auf den Spreewiesen vor Charlottenburg geschenkt und später auch ein Teil der Baukosten vorgestreckt hatte²³ - gesichert war, stand die Aufgabe einer möglichst optimalen Verknüpfung von wissenschaftlichen, technischen und industriellen Interessen im Zentrum aller Überlegungen. Zwar wurde dabei an das eben kurz umrissene Problem der Förderung einer leistungsfähigen Metrologie und insbesondere der Schaffung wissenschaftlicher Grundlagen für elektrische Maßeinheiten angeknüpft, doch wollte Werner von Siemens als einer der weitblickendsten Wissenschaftler. Techniker und Industrieller seiner Zeit das generelle Tätigkeitsprofil der Reichsanstalt auf eine wesentlich breitere Basis stellen - hierin war er sich mit Hermann Helmholtz einig, der inzwischen auf seiten der Wissenschaft zum "spiritus rector" des Projektes geworden war. Für Siemens waren eben nachhaltige Erfolge nur dann zu erzielen, wenn man neue Bahnen zuerst betritt und die auf dieselben zu gründenden Industriezweige zuerst ausbildet.24

Als im Oktober 1887 die PTR endlich ihr Arbeit aufnahm - zunächst in angemieteten Räumen der Technischen Hochschule in Berlin-Charlottenburg, da der Neubau des Institutskomplexes an der Marchstarße erst zu Beginn der

Votum von Hermann Helmholtz vom März 1884. PTB-Mitteilungen 75(1965), 431.

Vgl. D. Hoffmann: Werner von Siemens und die Physikalisch-Technische Reichsanstalt. In: D. Hoffmann, W. Schreier (Hrsg.): Werner von Siemens (1816-1892). Studien zu Leben und Werk. PTB-Texte Bd. 2, Braunschweig 1995, S. 35-48.

W.v. Siemens: Wissenschaftliche und Technische Arbeiten. Berlin 1891, Bd. 2, S. 580.

90er Jahre bezugsfertig war -, da wurde eine an der technischen Praxis im weitesten Sinne orientierte, breit angelegten aturwissenschaftliche Grundlagenforschung zum bestimmenden Moment ihrer Tätigkeit. Als Zentrum von physikalischer Forschung und des metrologischen Prüfwesens in Deutschland erwarb sich die PTR binnen kurzem in allen Bereichen von Wissenschaft, Technik und Wirtschaft hohes Ansehen und nahm daneben durch ihre Entwicklungen unmittelbaren Einfluß auf die Hebung des wissenschaftlich-technischen Niveaus der deutschen Industrie. Umgekehrt bildeten die von der Praxis geforderten Präzisionsmessungen - z.B. auf dem Gebiet der elektrischen Maßeinheiten sowie in der Lichttechnik und Strahlungsmessung - den Ausgangspunkt für herausragende physikalische Forschungsleistungen und festigten den Ruf der Reichsanstalt als Institution erstklassiger Grundlagenforschung. Wenn bereits in den Jahren um die Jahrhundertwende Präzisionsphysik im modernen Sinne betrieben wurde, dann in den vorzüglich ausgestatteten Laboratorien der Charlottenburger Reichsanstalt.

In der Aufbauphase der PTR, die in etwa die Präsidentschaft von Helmholtz (1888/94) umfaßt, lag der Schwerpunkt ihrer metrologischen Tätigkeit im Bereich der Thermometrie, wobei die damaligen Fortschritte im Bereich von Thermometrie und Thermometerbau in Deutschland und der damit aufs engste in Beziehung stehende Aufschwung der deutschen Thermometerindustrie sich nicht zuletzt auf eine enge und effektive Zusammenarbeit zwischen Reichsanstalt und Industrie gründet.27 Nachdem die Reichsanstalt zu Beginn der neunziger Jahre ihren neu erbauten Institutskomplex in der Charlottenbruger Marchstraße bezogen hatte, wurde auch mit den elektrischen Untersuchungen sowie mit lichttechnischen Forschungen begonnen. Beides bildete lange Zeit die Domäne und das Rückgrat ihrer Arbeiten. Zwar lagen inzwischen für die elektrischen Maßeinheiten fast sämtlichst Absolutmessungen vor, doch blieb auf dem Gebiet der praktischen Metrologie nach wie vor viel zu tun. Vor allem galt es, die entsprechenden Vorschriften auch für die technische Praxis handhabbar und realisierbar zu machen, wozu z.B. passende und in ihren Eigenschaften zeitlich konstante Materialien nötig waren. Hierzu wurden umfangreiche Forschungen betrieben, wobei die Einführung des Manganins als Werkstoff für Präzisionswiderstände zu den bedeutendsten Leistungen gehört. Im Zusammenhang mit der einheitlichen Regelung des elektrischen Meßwesens

D. Hoffmann: Physikalisch-Technische Reichsanstalt - Zum 100. Gründungsjubiläum der bedeutenden Forschungseinrichtung. Feingerätetechnik 36(1987) 12, 558-562.

Vgl. D. Cahan: Meister der Messung. Weinheim 1991.

D. Hoffmann: Hundert Jahre Ilmenauer Prüfanstalt für Thermometer. Feingerätetechnik 39(1990) 2, 82-85.

Reichs=Gesethlatt.

M 26.

Inhalt: Gefes, betreffend bie elettrifchen Magembeiten. 3. 905.

(Rr. 2491.) Befes, betreffend bie eleftrifchen Rageinheiten. Bom 1. Juni 1898.

Wir Wilhelm, von Gottes Gnaden Deutscher Kaiser, Konig von Preugen 2c.

verorbnen im Ramen bes Reiche, nach erfolgter Buftimmung bes Bunbestathe und bes Reichetags, mas folgt:

6. 1.

Die gesetlichen Einheiten fur elektrische Meffungen find bas Ohin, bas Umpere und bas Bolt.

Das Obin ift die Einheit bes eleftrischen Wiberftandes. Es wird bargefiellt burch ben Wiberftand einer Onedfilberfaule von ber Temperatur bes schmilgenden Gifes, beren Lange bei burchweg gleichem, einem Quabratmillimeter gleich zu achtendem Querschnitt 106,3 Centimeter und beren Maffe 11,4221 Gramm beträgt.

6. 3

Das Ampere ift die Einheit der eleftrischen Etromftarfe. Es wird bargeftellt durch den unveränderlichen eleftrischen Etrom, welcher bei dem Durchgange burch eine mafferige Lösung von Silbernitrat in einer Selunde O,001118 Gramm Silber niederschlägt.

6. 4.

Das Bolt ift die Einbeit der eleftromotorifden Kraft. Es wird bargeftellt burch die eleftromotorifde Rraft, welche in einem Leiter, besten Widerstand ein Obia beträgt, einen eleftrischen Strom von einem Amvere erzeugt.

6. 5.

Der Bundestath ift ermachtigt, .

a) die Bedingungen festgujegen, unter benen bei Darfiellung bei Ampere (G. 3) die Abicheidung bes Gilbers ftattzufinden bat,

Abb. 4

wurden der Reichsanstalt dann Ende des Jahrhunderts auch die entsprechenden gesetzlichen Aufgaben übertragen. Mit dem im Jahre 1898 erlassenen Gesetz betreffend die elektrischen Maßeinheiten (Abbildung 4) zeichnete sie als oberste Instanz des Deutschen Reiches für die Darstellung und Betreuung der elektrischen Einheiten sowie für die Überwachung der Meßgeräte zur elek-

trischen Energieversorgung verantwortlich. Später wurde die gesetzliche Verantwortlichkeit sukzessive auch auf andere Bereiche ausgedehnt, so daß man nach und nach für den Gesamtbereich der Maße und Einheiten sowie ihrer technischen Normierung und Kontrolle verantwortlich wurde - der letzte administrative Schritt in diese Richtung wurde 1923 mit der Eingliederung der einstigen Normal-Eichungs-Kommission in die PTR vollzogen. 28

Mit der Erweiterung des metrologischen Aufgabenprofils der Reichsanstalt wuchsen die metrologischen Prüf- und Routineaufgaben in sehr starkem Maße und es wurde zunehmend Klage über den Rückgang des wissenschaftlichen Charakters der Anstalt geführt. Daß eine solche Profilverschiebung aber keineswegs mit einem generellen Verzicht auf die Verfolgung grundsätzlich neuer und rein wissenschaftlicher Grundlagenprobleme einher gehen muß, zeigen beispielsweise die lichttechnischen Forschungen. Vor dem Hintergrund technischer und wirtschaftlicher Konkurrenzinteressen der damaligen deutschen Gas- und elektrischen Beleuchtungsindustrie, die an die PTR herangetragen wurden, entstand im ausgehenden 19. Jahrhundert das dringende Bedürfnis nach Bereitstellung eines einheitlichen, zweckdienlichen und zuverlässigen Lichtmaßes sowie nach Verbesserung der wissenschaftlichen Grundlagen der Lichtmessung. Im Rahmen dieser vielschichtigen Aufgabenstellung wurden durch die Physiker der Reichsanstalt - in erster Linie sind hier Wilhelm Wien und Otto Lummer zu nennen - nicht nur zahlreiche neue Meßgeräte entwikkelt, optische Meßmethoden perfektioniert und schließlich auch in Gestalt der sogenannten Hefner-Kerze eine praktische Lichteinheit realisiert, die für mehrere Jahrzehnte als Einheit der Lichtstärke genutzt wurde. Zugleich führten diese lichttechnischen Präzisionsuntersuchungen zu einer wissenschaftlichen Durchdringung der Grundlagen von Licht- und Strahlungserzeugung, die sich sowohl in der experimentellen Realisierung eines sogenannten Schwarzen Körpers, als auch in der Aufstellung eines neuen Strahlungsgesetzes, des sogenannten Wienschen T5-Gesetzes, dokumentierte. Weiterführende Messungen u.a. von Gastwissenschaftlern der Technischen Hochschule ausgeführt wiesen aber schon bald auf Differenzen hin. Dies war bekanntlich für Max Planck, Professor für theoretische Physik an der Berliner Universität, die experimentelle Grundlage seiner Untersuchungen zur Wärmestrahlungstheorie und damit für die Aufstellung der Quantenhypothese an der Wende zu unserem Jahrhundert. 29

R. Stentzel: Begründung für die Verschmelzung der Reichsanstalt für Mass und Gewicht mit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin im jahre 1923. Annals of Science 33(1976) 289-306

Vgl. H. Kangro: Die Vorgeschichte des Planckschen Strahlungsgesetzes. Wiesbaden 1970.

Auch andere revolutionäre Veränderungen in den Grundlagen der Physik spiegeln sich in der Forschungstätigkeit der Reichsanstalt direkt wieder. So wurde bereits im Jahre 1896 an der Reichsanstalt auf die Entdeckung der Röntgenstrahlen reagiert und auf Anregung des Kriegsministeriums Versuche zur Feststellung der Verwertbarkeit dieser Strahlen für medizinisch-chirurgische Zwecke angestellt. 30 Nachdem die Röntgenstrahlen in den folgenden Jahren immer breitere Anwendungen in der Medizin erfuhren und sich dabei Unfälle infolge falscher Strahlendosen häuften, wurden die Röntgenstrahlen zunehmend nicht nur als ein Problem physikalischer Untersuchungen angesehen, sondern auch als eine zentrale Frage der Metrologie. Ähnlich wie im Falle der Hefner-Kerze, d.h. der Definition einer praktikablen Lichteinheit, wurde auch hier der Kontakt zur Industrie gesucht und im engen Zusammenwirken mit ihr (inklusive erheblicher finanzieller Zuwendungen) - insbesondere mit den Siemens-Reiniger Werken - ein Röntgenstandard entwickelt und das Wirrwarr auf diesem Gebiet behoben. In den ersten Jahren nach der Röntgenschen Entdeckung hatte man eine Vielzahl von Methoden genutzt, um die Intensität der Strahlung zu bestimmen. Viele Mediziner bestimmten die Strahlungsdosis anhand des Rötungsgrades der bestrahlten Haut, in der Technik und Wissenschaft nutzte man vielfach die Verfärbung spezieller chemischer Substanzen oder setzte Selenzellen und Fotoplatten ein. All diese Methoden trugen zwar dazu bei, den Grad der Obiektivität bei der Bestimmung der Röntgenstrahlenintensität zu erhöhen und damit z.B. in der Medizin weitere Fortschritte bei der therapeutischen Dosierung zu erzielen und zunehmend Strahlenunfälle zu vermeiden, doch entsprachen all diese Methoden in keiner Weise den üblichen Standards der Metrologie und der allgemein akzeptierten wissenschaftlichen Genauigkeit. Eine grundlegende Wende brachten erst die Arbeiten der PTR zur Dosierung der Röntgenstrahlen die nach dem ersten Weltkrieg begannen und innerhalb weniger Jahre zur Definition einer Dosis-Einheit führten. Bei der Lösung des Problems griff man auf eine Methode zurück, die bisher auf einem ganz anderen Gebiet erfolgreich angewandt wurde und die mit der anderen revolutionären Entdeckung der experimentellen Physik jener Zeit, der Radioaktivität, in Zusammenhang steht.

Die Pioniere dieses physikalischen Forschungsgebiets standen ebenfalls vor dem Problem, Aussagen über die Intensität der radioaktiven Strahlung treffen zu müssen. In diesem Zusammenhang hatte insbesondere Ernest Rutherford verdientsvolle Forschungen geleistet und in der Ionisationskammer ein Gerät entwickelt, das die Ionisierbarkeit der Luft durch radioaktive Strahlen als Grundlage für die Bestimmung der Intensität der Strahlung nutzte - der in

Vgl. Versuche zur Feststellung der Verwertbarkeit Röntgenscher Strahlen für medizinisch-chirurgische Zwecke angestellt in Verein mit der Physikalischtechnischen Reichsanstalt. Veröffentlichungen aus dem Gebiet des Militär-Sanitärwesens Heft 10/1896, S.40-41.

einem bestimmten Volumen durch die Strahlungseinwirkung erzeugte Ionisationsstrom dient dabei als Maß für die Intensität der verursachenden Strahlung. h 1910 wurden solche Ionisationskammern erfolgreich als Basis für den Radiumstandard und für die Herstellung sogenannter Radium-Normallösungen verwandt. Dies geschah im übrigen nicht nur vor dem Hintergrund wissenschaftlicher Bedürfnisse, sondern nicht zuletzt auch angesichts bedeutender kommerzieller Interessen, denn die Radiumherstellung war ein äußerst komplizierter und aufwendiger Prozeß, so daß es damals nur in winzigsten Mengen vorlag und entsprechend kostbar war: die Radiumbestimmung besitzt, wie schon Warburg 1915 feststellte; bei dem hohen Preise dieses Körpers ein bedeutendes kommerzielles Interesse.

Ein wichtiger Ort für die Herstellung solcher Radium-Normallösungen (und auch anderer radioaktiver Präparate) war die Physikalisch-Technische Reichsanstalt. Emil Warburg, ihr dritter Präsident, hatte im Jahre 1912 den jungen Hans Geiger an die Reichsanstalt geholt und ihn mit dem Aufbau eines speziellen Laboratoriums für Radioaktivität beauftragte. Geiger war als Schüler und langjähriger Mitarbeiter Rutherfords für diese Aufgabe bestens präpariert und er hat in den folgenden Jahren dieses Labor zu einem der wichtigsten Zentren der radioaktiven Metrologie entwickelt - Jahr für Jahr wurde dort eine ständig wachsende Anzahl von radioaktiven Präparaten geprüft und zahlreiche Radium-Normallösungen hergestellt, die an interessierte Kollegen in der ganzen Welt bzw. an die Industrie abgeben wurden.³³ Darüber hinaus profilierte Geiger das Laboratorium zu einem der bedeutendsten wissenschaftlichen Zentren in der Frühgeschichte der Kernphysik. Insbesondere hat sich Geiger sehr um die Entwicklung leistungsfähiger elektrischer Zählmethoden für Kernteilchen verdient gemacht. 34 So wurde an der PTR der sogenannte Spitzenzähler (1913) entwickelt, führte er zusammen mit Walther Bothe die sogenannte Koinzidenz-Methode aus und wandte sie 1924 erfolgreich auf die Prüfung des Ener-

Vgl. A. Hessenbruch: The Commodification of Radiation: Radium and X-Ray Standards, 1896-1928. Dissertation University of Cambridge, 1994, insbesondere Abschnitt 2.

E. Warburg: Verhältnis der Präzisionsmessungen zu den allgemeinen Zielen der Physik. In: P. Hinneberg (Hrsgb.): Die Kultur der Gegenwart, Teil 3: Naturwissenschaften (Hrsgb. E. Warburg), Leipzig 1925, S. 736.

Vgl. die entsprechenden Passagen der j\u00e4hrlichen T\u00e4tigkeitsberichte der PTR in der Zeitschrift f\u00fcr Instrumentenkunde.

Vgl. K.P. Dostal, D. Hoffmann: Hans Geiger - ein Pionier der Teilchenphysik. Isotopenpraxis 21(1985) 9, 297-299.

giesatzes beim Compton-Effekt an³⁵ - ein weiterer experimenteller Markstein in der Geschichte der Quantentheorie, der mit der Reichsanstalt verknüpft ist. Seine neuen und leistungsfähigen Zählmethoden nutzte er im übrigen nicht nur in der wissenschaftlichen Forschung, sondern auch dazu, Präzisionsmessungen der Zerfallskonstante des Radiums durchzuführen - jener Konstante, auf der die Definition des *Curie* basiert, der 1927 gesetzlich eingeführten (und bis zur Einführung des SI-Systems (1960) gültigen) Einheit für die Aktivität eines radioaktiven Strahlers. Weiterhin erging 1921 auf dem Radiologentag in Freiberg an Hans Geiger die Bitte bzw. Aufforderung, in seinem Laboratorium geeichte Radium-Normallösungen herzustellen und als verbindliche Strahlungsstandards interessierten Kollegen und Instituten für ihre Forschungen zur Verfügung zu stellen - bis 1924 wurden durch Geiger und seine Mitarbeiter 13 solche Normallösungen hergestellt und an in- und ausländische Einrichtungen abgegeben.

Was Geiger für die radioaktive Strahlung leistete, tat Hermann Behnke ebenfalls im Laufe der zwanziger Jahre für die Röntgenstrahl-Dosiometrie. Letztere hatte Walther Nernst unmittelbar nach seinem Amtsantritt als vierter Präsident der Reichsanstalt zu jenen zentralen Problemen der damaligen metrologischen Forschung gerechnet, deren Lösung und internationale Regelung dringend geboten war. Behnkes Forschungen führten im Jahre 1925 zur Festlegung der Einheit Röntgen (R) als Dosiseinheit für Röntgenstrahlen. Danach wird die absolute Einheit der Röntgenstrahlendosis von der Röntgenstrahlenenergiemenge geliefert, die bei der Bestrahlung von einem ccm Luft von 18 C Temperatur und 760 mm Quecksilberdruck bei voller Ausnutzung der in der Luft gebildeten Elektronen und bei Ausschaltung von Wandwirkungen eine so starke Leitfähigkeit erzeugt, daß die bei Sättigungsstrom gemessene Elektrizitätsmenge eine elektrostatische Einheit beträgt. Problem der der Hatten der Röntgenstrahlen eine so starke Leitfähigkeit erzeugt, daß die bei Sättigungsstrom gemessene Elektrizitätsmenge eine elektrostatische Einheit beträgt.

Da das *Röntgen* sofort von der Deutschen Röntgengesellschaft, auf deren Veranlassung die Untersuchungen nicht zuletzt durchgeführt worden war, akzeptiert und ihren Mitgliedern zur Anwendung dringend empfohlen wurde, setzte sich diese Einheit sehr schnell in Deutschland durch; überdies bildete sie auch die Grundlage für internationale Vergleichsmessungen, an denen Behnke führend beteiligt war. Auf der Grundlage dieser Vergleichsmessungen -insbeson-

Vgl. D. Hoffmann: Ein Physiker per se. Zum 100. Geburtstag von Walther Bothe. Wissenschaft und Fortschritt 41(1991) 5, 162-165.

Sitzung des Kuratoriums, 12.3.1924. Bundesarchiv Potsdam, RMdI 15.01, Nr. 13144/, Bl. 29.

H. Behnke, R. Jäger: Die deutsche Einheit der Röntgenstrahlendosis. Zeitschrift für technische Physik 9(1926)11, 565.

dere mit dem amerikanischen Röntgen-Standard - wurde im Jahre 1927 auf dem internationalen Radiologenkongreß in Stockholm die Einführung eines internationalen Standards beschlossen, dessen Definition im wesentlichen der deutschen Röntgen-Einheit folgte.

Noch auf einem anderen Gebiet der Normung metrologischer Basiseinheiten leistete die PTR Pionierarbeit. In ihren Labors wurden seit Mitte der zwanziger Jahre die Grundlagen jener Entwicklung gelegt, die von der astronomischen zur atomphysikalischen Definition der Zeit führt. Am Beginn dieser Entwicklung standen Experimente von Wilhelm Wiebe und Adolf Scheibe über das piezoelektrische Schwingungsverhalten von Quarzkristallen. Scheibe erkannte dabei, daß solche Kristalle die Möglichkeiten eröffnen, spezielle Uhren zu bauen. Eine solche wurde dann zusammen mit Georg Adelsberger zu Beginn der 30er Jahre in Gestalt der sogenannten Quarzuhr realisiert. Mit dieser Uhr konnten Scheibe und Adelsberger sehr schnell nachweisen, daß die von der Erdrotation abgeleitete Weltzeit jahreszeitliche Schwankungen unterlag, d.h. die astronomische Zeitskala nicht konstant ist. Daß zwischen dieser Feststellung und der Neudefinition der Sekunde im Jahre 1968 drei Jahrzehnte liegen. lag nicht nur daran, daß Scheibes Ergebnisse zunächst in der Fachwelt auf einige Skepsis gestoßen waren. Verantwortlich für diese Zeitverzögerung war vor allem, daß es umfangreicher Entwicklungsarbeiten bedurfte, bis Quarzuhren eine hinreichende technologische Reife erzielt hatten; auch bewirkte der zweite Weltkrieg nachhaltige Verzögerungen, nicht zuletzt auf dem Gebiet der internationalen Zusammenarbeit und Abstimmung. Nach dem zweiten Weltkrieg wurde die Quarzuhrentwicklung schon bald in die Entwicklung sogenannter Atomuhren übergeleitet, an denen die Nachfolgeinstitution der PTR. die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, ebenfalls in entscheidender Weise beteiligt war. Man hatte in diesem Zusammenhang sehr schnell erkannt, daß in den Atomen selbst sehr viel bessere Schwingungssysteme zur Verfügung standen, als mit den perfektesten Quarzkristallen wegen ihrer Alterungseigenschaften zu erzielen waren. Der Übergang zwischen zwei atomaren Energieniveaus regelt sich bekanntlich nach der Quantenbeziehung E = hv, so daß deren Energiedifferenz einer definierten Frequenz entspricht und somit als Grundlage für die Entwicklung einer Atomzeitskala dienen kann. Atomuhren haben heute eine hohe technologische Reife erreicht, was dazu geführt hat, daß sich die Unsicherheit der atomaren Frequenznormale von 10⁻⁹ auf 10⁻¹⁴ reduziert hat und damit die Sekunde jene Basiseinheit der modernen Metrologie ist, die am exaktesten bestimmt werden kann.

In der modernen Metrologie ist aber nicht nur die Definition der Zeit mit einer Fundamentalkonstante - in diesem Falle das Plancksche Wirkungsquantum h - verknüpft und damit von äußeren Parametern und Materialkonstanten unabhängig. Gleiches trifft für die Länge zu, die sich heute nicht mehr durch den Platinmaßstab von Serves definiert, sondern mit Hilfe interferometrischer Me-

thoden und moderner Lasertechnik realisiert wird, d.h. an die Lichtgeschwindigkeit angeschlossen ist. Damit fand eine Entwicklung ihren Abschluß, die weit ins 19. Jahrhundert zurückreicht. Bereits 1827 hatte der französische Physiker Jean Babinet die Idee entwickelt, die Lichtwellenlänge als Basis für die Definition der Längen-Normale zu nutzen. Allerdings machten erst die Fortschritte des ausgehenden 19. Jahrhunderts auf dem Gebiet von Spektroskopie und Interferenzmeßtechnik diese Idee realisierbar, wobei es das Verdienst der amerikanischen Physiker Abraham Michelson und Edward Morley war, in umfangreichen Experimenten (1889) die Wellenlänge des roten Cadmiumlichtes mit großer Präzision gemessen und die prinzipielle Möglichkeit, diese mit Hilfe interferometrischer Verfahren an das irdische Meter anzuschließen, aufgezeigt zu haben; im klassischen Land der Metrologie, in Frankreich wurde das Verfahren dann durch Benoit, Fabry und Perot zwei Jahrzehnte später weiter verbessert. Trotz solcher Erfolge mußte noch ein weiteres halbes Jahrhundert vergehen, bis es zu einer Neudefinition des Meters auf dieser Grundlage kam. Verantwortlich hierfür war neben der Überwindung einer Fülle von apparativen und technischen Schwierigkeiten auch die Tatsache, daß die Erkenntnisse der modernen Physik nicht ohne Einfluß auf diese metrologischen Arbeiten blieben. Beispielsweise führte die Endeckung der Isotopie dazu, daß man die Spektren eines Elementes nicht mehr einheitlich behandeln konnte und Isotopieeffekte nicht nur theoretisch zu berücksichtigen, sondern auch Isotopentrennlagen für die in Frage kommenden Füllstoffe der Spektrallampen zu entwickeln waren. Forschungen die nicht zuletzt an der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in großem Umfang betrieben wurden. Darüber hinaus waren umfangreiche Untersuchungen zu quantentheoretischen und relativistischen Effekten und deren Einfluß auf die Intensität und das Profil der Spektralinien anzustellen. Wichtige Pionierabeiten bei der Überwindung all dieser apparativen und wissenschaftlichen Schwierigkeiten leistete Wilhelm Kösters. der seit den zwanziger Jahren an der Reichsanstalt für Maß und Gewicht bzw. an der PTR die Forschungen auf diesem Gebiet leitete. Insbesondere gelang es ihm, in der gelbgrünen Strahlung des Krypton eine Lichtquelle zu entdecken, die die besten Voraussetzungen für die angestrebte Neudefinition des Meters bot. Mit Hilfe dieser Lichtquelle und eines von ihm ebenfalls entwickelten Interferenzkomperators, der später serienmäßig durch die Firma Carl Zeiss Jena hergestellt wurde, ist an der PTR ein Verfahren zur Meterdefintion entwickelt worden, das die Genauigkeit der bisherigen Meterdefinition und ihres Anschlusses an andere Strichmaße übertraf und sich auch im internationalen Vergleich gegenüber den Konkurrenten an den anderen metrologischen Staatsinstituten durchsetzen konnte. Nach entsprechenden Vergleichsmessungen in den fünfziger Jahren sprach das Internationale Büro für Maß und Gewicht in Paris 1957 die Empfehlung aus, die gelbgrüne Kryptonlinie als zukünftiges Normal für die Wellenlängendefinition des Meters in Aussicht zu nehmen. Dieser Empfehlung entsprach dann im Jahre 1960 die 11. Generalkonferenz für Maß und Gewicht und bestimmte das Meter als das 1.650.763,73 fache der Wellenlänge der von Atomen des Nuklid Kr beim Übergang vom Zustand $5d^5$ zum Zustand $2p^{10}$ emittierten und sich im Vakuum ausbreitenden Strahlung.

Mit der Entwicklung der Lasertechnik in den sechziger Jahren und den damit grundlegend verbesserten Möglichkeiten zur Herstellung einer frequenzstabilisierten und kohärenten monochromatischen Strahlung eröffneten sich neue Möglichkeiten, die Genauigkeit von interferometrischen Längenmessungen weiter zu steigern und das Meter nicht nur auf atomare Größen zu beziehen, sondern auf der Basis einer Fundamentalkonstante, der Lichtgeschwindigkeit, zu definieren. Seit 1983 wird das Meter deshalb als Länge jener Strecke definiert, die das Licht im Vakuum während der Dauer von 1/299792458 Sekunden durchläuft. So einfach diese Formulierung der Meterdefinition anmutet, so kompliziert und technisch anspruchsvoll ist hingegen ihre technische Realisierung. Hierfür ist nämlich die Etablierung einer hochentwickelten Lasertechnologie und der Unterhalt sogenannter Frequenzketten nötig; mit letzteren wird der für die interferometrische Längenmessung nötige Lasern im sichtbaren Spektralbereich (Ca-Laser von 557 nm. d.h. 455 986 240 494 000 Hz) stufenweise an das primäre Frequenznormal, eine Cäsium-Atomuhr (9.192.631.770 Hz), angeschlossen. Damit wird nicht nur die relative Meßunsicherheit für das Meter auf etwa 10 -12 gesenkt, sondern die bislang unabhängigen metrologischen Basiseinheiten Meter und Sekunde können nun miteinander verknüpft bzw. aufeinander bezogen werden.

Die Entdeckung makroskopischer Quantenphänomene durch Brian D. Josephson (Wechselstrom-Josephson-Effekt, 1962) und Klaus v. Klitzing (Quanten-Hall-Effekt, 1980) haben in jüngster Zeit weitere Möglichkeiten in dieser Richtung erschlossen. Auf der Grundlage dieser Effekte lassen sich nämlich auch die elektrischen Einheiten durch Quantennormale ersetzen, d.h. auf Fundamentalkonstanten - in diesem Fall sind es das Elementarquantum h und die Elementarladung e - beziehen. Jüngste Entwicklungen in der metrologischen Forschung scheinen sogar die Chance zu bieten, in absehbarer Zeit das Kilogramm auf der Basis einer Fundamentalkonstanten zu definieren. Damit könnte das Ur-Kilogramm in Sevres, das seit dem Jahre 1889 als Masse-Prototyp fungiert, als letztes klassisches Normal den Weg ins Museum antreten und durch einen atomphysikalisch definierten Standard ersetzt werden.

Erstmals könnte so ein konsistentes Einheitensystem auf der Grundlage eines Satzes von Fundamentalkonstanten realisiert werden. Eine Vision, die bereits

Vgl. V. Kose, F. Melchert: Quantenmaße in der elektrischen Meßtechnik. Weinheim 1991, S. 107ff.

Vgl. Chr. Ettl: Abschied vom Urkilogramm. Süddeutsche Zeitung v. 14.12.1994, S. N1.

Bessel mit den eingangs erwähnten Experimenten zum Sekunden-Pendel verfolgt hat und die dann an der Wende zu unserem Jahrhundert durch Max Planck explizit formuliert worden ist: sah er doch in einem System universeller Naturkonstanten jene Grundlage, auf denen ein Einheitensystem aufbauen sollte, das sich nicht auf die speciellen Bedürfnisse unserer irdischen Cultur bezieht: man sollte vielmehr mittels solcher Fundamentalkonstanten wie der Lichtgeschwindigkeit, der Gravitationskonstante oder dem Planckschen Wirkungsquantum "Einheiten für Länge, Masse und Zeit aufstellen, welche, unabhängig von speciellen Körpern oder Substanzen, ihre Bedeutung für alle Zeiten und für alle, auch ausserirdische und aussermenschliche Culturen nothwendig behalten und welche daher als "natürliche Masseinheiten" bezeichnet werden können."

Versucht man mit dieser Prämisse den Weg der Metrologie vom deutschen Zollverein bis zur heutigen Physikalisch-Technischen Bundesanstalt zusammenzufassen, so läßt sich feststellen, daß ein wichtiges Ziel neuzeitlicher metrologischer Forschung, die Normale für physikalische Einheiten auf Fundamentalkonstanten zu beziehen und auf dieser Grundlage ein konsistentes System natürlicher Maßeinheiten zu schaffen, heute vor seiner Vollendung steht. Mit Erreichung dieses ist aber keineswegs das Ende der Metrologie prognostiziert, denn die Ersetzung der Prototypen der klassischen Physik durch Quantennormale und atomare Definitionen verbessert zwar die Unsicherheit bei der Realisierung des physikalischen Einheitensystems auf grundlegende Weise, die praktischen Probleme der modernen Metrologie werden damit aber nicht geringer. Quantennormale erfordern nämlich in der Regel höchst komplexe und aufwendige Meßanordnungen und Instrumentarien, so daß die bisher üblichen klassischen Normale damit keineswegs überflüssig werden. Vielmehr werden sie wegen ihrer einfachen Handhabung und geringeren Kosten, die sie verursachen, auch weiter dort Anwendung finden, wo die Genauigkeitsanforderungen dies zulassen - und dies betrifft ohne Zweifel die überwiegende Zahl der Anwendungsfelder der Metrologie, so daß diese sich heute und in der Zukunft genau so wenig um ihre Existenzberechtigung zu fürchten braucht, wie in den zurückliegenden Jahrhunderten.

 $^{^{\}rm 40}$ M. Planck: Über irreversible Strahlungsvorgänge. Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1899, S. 480.

Der Kataster am Wege von der nationalen Steuergrundlage zum Werkzeug europäischer Bodenpolitik

August Hochwartner, Wien

Dem nicht von mir ausgewählten, wohl aber von mir akzeptierten Titel des folgenden Referates darf ich die Worte "am Beispiel des österreichischen Katasters" anfügen. Nicht weil ich der Ansicht bin lediglich der in Österreich geführte Kataster sei in diesem Zusammenhang als beispielhaft zu erwähnen oder sollte beispielgebend sein.

Ich werde vielmehr versuchen, den Weg des österreichischen Katasters zu beschreiben und dessen künftige Entwicklung im Rahmen von Umfeldeinflüssen zu skizzieren und will es Ihnen überlassen, Vergleiche anzustellen.

1 Einleitung

Zweck der österreichischen Landesvermessung ist es, die Verhältnisse an Grund und Boden, deren Kenntnis für staatliche und private Anliegen erforderlich ist, in geeigneter Form dazu stellen. Die sich daraus ergebenden Aufgaben gliedern sich in die Grundlagenvermessungen, die Angelegenheiten des Katasters und die Herstellung der Landkarten. Die Grundlagenvermessungen umfassen einerseits die Aufgaben der internationalen Erdmessung, andererseits die Schaffung und Erhaltung eines engmaschigen Feldes von Festpunkten als Ausgangspunkte für alle Detailvermessungen. Die Angelegenheiten des Katasters beinhalten alle jene Arbeiten, die zur Anlage und Führung eines Katasters über die einzelnen Grundstücke notwendig sind. Die Kartenherstellung umfaßt alle jene Aufgaben, deren Ziel die Darstellung insbesondere des Bundesgebietes in Form von den wissenschaftlichen und praktischen Anforderungen entsprechenden Landkarten ist. So formuliert dies die Präambel zum Vermessungsgesetz des Jahres 1968 mit dem vor allem für den österreichischen Kataster eine deutliche Schwerpunktsbildung vom Steuerkataster hin zum Rechtskataster eingeleitet worden ist. Als deutlichen zusätzlichen Akzent setzt dieses Gesetz eine klare Trennung zwischen staatlichen, also von den Vermessungsbehörden zu vollziehenden Aufgaben, und jenen der übrigen, vor allem Privaten, Vermessungsbefugten. In der Normierung des staatlichen Vermessungswesens setzt dieses Gesetzeswerk ein offensichtliches und klares Zeichen für die folgende Entwicklung des Katasters. Die wenigsten, der für die Entwicklung des Katasters maßgeblichen Ereignisse erfolgten so unmittelbar und so offensichtlich.

2 Historische Entwicklung

Die Wurzeln des österreichischen Katasters reichen bis zum Beginn des 18. Jahrhunderts zurück. Beginnend mit dem Jahre 1720 wurde im Herzogtum Mailand, das nach Beendigung des spanischen Erbfolgekrieges durch den Frieden zu Rastatt 1714 Österreich zugesprochen worden war, vermutlich der erste einheitliche Grundsteuerkataster Europas, dessen Ergebnisse auf eine vollständige Katastralvermessung zurückgeführt werden können, aufgebaut. Die im Jahre 1756 in den meisten Kronländern Österreich-Ungarns in Kraft getretenen Maßnahmen stellen in ihren Grundlagen, dem Theresianischen Kataster, nicht jedoch in der Zielsetzung einen technischen Rückschritt gegenüber dem Mailänder Kataster dar. Es gab - von Ausnahmen abgesehen - keine Katastralvermessung und daher auch keine Mappendarstellung. Auch dem am 1. November 1789 in Kraft gesetzten Josefinischen Kataster hafteten wesentliche Mängel an. Mit ihm wurden lediglich die ertragsfähigen Grundstücke festgehalten. Eine allgemeine Katastralvermessung wurde aus Kostengründen nicht durchgeführt. Theresianischer und Josefinischer Kataster entbehren aus der Sicht der heute gestellten Forderungen der Qualität, der Aktualität und vor allem der Vollständigkeit. Mit dem Grundsteuerpatent vom 23. Dezember 1817 wurde eine allgemeine ökonomische Vermessung, Mappierung und Schätzung aller Grundstücke angeordnet, deren Ergebnis ein gleichförmiges, stabiles Grundsteuerkatastersystem für die ganze Monarchie sein sollte. Aus der Einbeziehung aller Grundstücke in die Katastralvermessung und deren Darstellung im Mappenwerk darf geschlossen werden, daß mit dem franziszeischen Kataster eine über die Grundsteuerbemessung hinausgehendes Ziel verfolgt worden ist. Grundlage der Katastralvermessungen war die Katastertriangulierung, die an die in den meisten Provinzen bestehende Militärtriangulierung (I. und II. Ordnung) anschloß. Jedenfalls brachte der franziszeische Kataster eine deutliche Akzentsetzung in Richtung Qualität (Bezugssystem, Vermessung) und Vollständigkeit.

Die Koordinaten der trigonometrisch bestimmten Punkte wurden in ebenen rechtwinkeligen Koordinatensystemen berechnet. Die Erdkrümmung blieb unberücksichtigt. Als Mappenmaßstab wurde der Grundmaßstab 1:2880 (1 Zoll entspricht 40 Klafter) festgelegt. Die Ausgangsbasis dieses ungewöhnlichen Maßstabs waren die topographischen Kartenwerke, die im Militärmaß angelegt waren und auf dem Schrittmaß beruhten. Die Detailvermessungen erfolgten katastralgemeindeweise (= steuergemeindeweise) mittels Meßtisch. Für jede Katastralgemeinde wurde eine Inselmappe angelegt. Das Grundsteuerpatent 1817 sah auch eine Evidenzhaltung (= Führung) des stabilen Katasters vor, die sich jedoch nur auf Veränderungen in der Person des Besitzers, im Umfang des Steuerobjektes und auf Fehlerberichtigungen bezog. Trotz oder wegen der großen Anzahl voneinander unterschiedener Kulturgattungen blieben Kulturänderungen unberücksichtigt. Erst mit dem Jahre 1869 erfolgte eine Reambulierung des Katasters, die auch alle Änderungen in den Kulturgattungen berücksichtigte. Gleichzeitig wurde mit dem Grundsteuerregulierungsgesetz des Jahre 1869 auch ein eigenes Evidenzhaltungsgesetz - mit dem die ständige Führung des Katasters geregelt werden sollte - angekündigt.

Durch das Allgemeine Grundbuchanlegungsgesetz des Jahres 1871 ergab sich die zwingende Notwendigkeit zur Führung des Katasters. Die Grundbücher wurden auf dem bestehenden Kataster aufgebaut. Der Kataster diente plötzlich nicht nur steuerlichen Zwecken, er hatte, ergänzend zum Grundbuch, Aufgaben der rechtlichen Dokumentation übernommen. Grundstücke die bisher nach Kulturarten oder nach der Person des Besitzers gebildet oder voneinander unterschieden wurden, hatten darüberhinaus auch Eigentum zu unterscheiden, ohne daß die Konstruktion des Katasters a priori darauf ausgerichtet gewesen war. Eine stete Übereinstimmung zwischen Grundbuch und Kataster mußte ab 1871 gewährleistet werden.

Mit dem Evidenzhaltungsgesetz des Jahres 1883 wurde dieser Forderung Rechnung getragen. Die Verpflichtung zur gegenseitigen Übereinstimmung bewirkte eine Erweiterung des Informationsgehaltes und eine Festigung der Signifikanz in beiden Datensammlungen. Bis zum Jahre 1968 bildete das Evidenzhaltungsgesetz die wesentlichste rechtliche Grundlage für die Führung des Katasters. Mit dem Vermessungsgesetz des Jahres 1968 wurden die Aufgaben der Landesvermessung neu geordnet. Neben seinen bisherigen Aufgaben - Grundlage für die Besteuerung zu sein und mittelbar das Hilfsverzeichnis des Grundbuches zu bilden - hatte der neu entstehende Grenzkataster der Sicherung der Grundstücksgrenzen zu dienen.

Im Jahre 1981 wurden die Bestimmungen des Vermessungsgesetzes hinsichtlich der Einrichtung der Grundstücksdatenbank novelliert. Der Kataster war - in allen seinen Teilen - automationsunterstützt und in permanenter Verknüpfung mit dem Grundbuch zu führen.

3 Umfeld

Der Kataster - ursprünglich als Grundlage für die Besteuerung von Grund und Boden konzipiert - hat also durch unmittelbare materiellrechtliche Neuregelungen Änderungen in seiner Aufgabenstellung erfahren. Aber auch Rechtsnormen in verwandten oder benachbarten Sachgebieten haben mehr oder weniger Einfluß auf die Entwicklung des Katasters genommen. Raumordnungsrechtliche Regelungen verpflichten die Länder und die Gemeinden, den Kataster als Grundlage von Planungskonzepten zu verwenden. Ein Umstand der sowohl hinsichtlich des technischen Gehaltes als auch des Katasterinhaltes Handlungsbedarf bei der Katasterverwaltung ausgelöst hat. Einerseits hat dies - bereits vor dem Vermessungsgesetz des Jahres 1968 - zum Übergang vom alten Katastersystem des franziszeischen Katasters auf die Darstellung in metrischen Maßstäben im Landeskoordinatensystem geführt. Andererseits hat dies eine intensive Diskussion über die vom Kataster darzustellenden Bodennutzungen ausgelöst. Der drastische Schritt des Jahres 1968, die Vielzahl der Kulturgattungen auf lediglich acht Benützungsarten zurückzuführen, wurde vor wenigen Jahren wieder korrigiert. Den Benützungsarten wurden als Detailgliederung die detaillierten Nutzungsarten zur Seite gestellt.

Die Erfassung der tatsächlichen Nutzung von Grund und Boden, deren Dokumentation und Auswertung in Form von Flächenbilanzen und Zeitreihen schafft wesentliche Grundlagen für die Raumplanung und Raumordnung. Die in den vergangenen Jahren im Kataster ausgewiesenen Benützungsarten waren - den Intentionen des Planungsbereiches folgend - einerseits nicht ausreichend differenziert, andererseits dienten sie nicht nur allein der Beschreibung tatsächlicher Verhältnisse in der Natur, sondern auch der Wiedergabe von rechtlich begründeten Festlegungen; denen mitunter die tatsächliche Nutzungsform vorübergehend nicht entsprach. Hierbei umschreibt das Wort "vorübergehend" einen Zeitraum von bis zu mehreren Jahrzehnten. Konfliktsituationen dieser Art treten vor allem im Bereich der Benützungsarten Wald, Weingarten und Gewässer auf. Um dem auch über die Interessen der Raumplanung hinausgehenden Benutzerbedarf Rechnung tragen zu können, wird einerseits die tatsächliche Nutzung von Grund und Boden dokumentiert, andererseits ist die Möglichkeit vorgesehen, rechtlich verpflichtende Festlegungen - wie etwa befristete Rodungsbewilligungen, die die betroffene Grundfläche nicht aus dem Status "Wald im Sinne des Forstgesetzes" entlassen - ersichtlich zu machen.

Diese Trennung in Ersichtlichmachungen den Naturstand betreffend und Ersichtlichmachungen betreffend rechtlicher Festlegungen ist sowohl der Darstellung nach als auch dem Verfahren der Eintragung nach zu trennen. Die Dokumentation der tatsächlichen Nutzung von Grund und Boden sollte grundsätzlich das Ergebnis der Erhebungen der Vermessungsbehörde sein und zur Darstellung von Nutzungsobjekten vor den Hintergrund der Grenzen von Grundstücken führen. Die Dokumentation der rechtlichen Festlegung bedarf der Mitteilung der jeweils zuständigen Behörde und soll eindeutig auf Grundstücke oder definierte Teile von Grundstücken bezogen sein. Aber nicht nur raumordnungsrechtliche Aspekte, durchaus auch Aspekte der Bewirtschaftungspolitik und des Umweltschutzes haben Einfluß auf die Entwicklung des Katasters genommen. Unmittelbar waren dies vor allem forstrechtliche Normierungen. Aber auch - für Österreich nicht gerade von unwesentlicher Bedeutung - weinbaurechtliche Maßnahmen und Regelungen sowohl des Bundes als auch der Länder beeinflußten den Kataster. Mit der Einrichtung der Grundstücksdatenbank und der durch sie gewährleisteten Verfügbarkeit aktueller Daten über Grund und Boden hat nicht nur der Druck, diese Daten permanent und in zeitgemäßer Form vorzuhalten, zugenommen. Die Verknüpfbarkeit der Katasterdaten nicht nur mit dem Grundbuch sondern mit einer Vielzahl von Anwendern mußte gewährleistet werden. Beispielhaft sei die ständige Verknüpfung der Grundstücksdatenbank mit den Daten des Österreichischen Statistischen Zentralamtes erwähnt. Der Datenaustausch betrifft Informationen über die Verwaltungsgrenzen, Inhalte der Territorialstatistik für das Bundesgebiet und Gliederungen der Zählsprengel. Die Daten der Grundstücksdatenbank stehen aber auch den Politischen Gemeinden über Wählleitungen und den Ämtern der Landesregierung über Standleitungen zur Verfügung und fließen dort in die jeweils zu betreffenden Entscheidungen ein. Sie sind jedenfalls wesentlicher Bestandteil der kommunalen oder der Landesinformationssysteme. Wenngleich zur Zeit weder alle Gemeinden noch alle Länder über fertige Installationen dieser Art verfügen, so ist doch deren schrittweiser Aufbau tendenziell im Steigen begriffen. In unmittelbar letzter Zeit haben vor allem agrargesetzliche Maßnahmen und Regelungen Einfluß auf die Entwicklung des Katasters genommen. Wegen der nicht zu unterschätzenden Bedeutung für das Vermessungswesen sei im folgenden besonders auf diesen Aspekt eingegangen.

4 Österreichs Beitritt zur Europäischen Union

Der Beitritt Österreichs zur Europäischen Union bringt tiefgreifende Veränderungen mit sich, die bereits jetzt für den Bereich des Katasters deutliche Auswirkungen zeigen. Vermutlich sind solche Auswirkungen dem Kreis der Zuhörer oder Leser in Deutschland bereits bekannt, als Angehöriger eines EU-Neulings darf ich aber dennoch darauf zu sprechen kommen. Mit Österreich ist ein Land Mitglied der Europäischen Union geworden, in dem die Berg- und Gebirgsregionen einen wesentlich größeren Anteil an der Gesamtfläche des Staates haben, als in den bisherigen Mitgliedstaaten. Das österreichische Berggebiet beherbergt 42 % der Bevölkerung und ist für 60 % der österreichischen Bauern die Lebens- und Wirtschaftsgrundlage. In der gesamten Europäischen Union liegen lediglich 26 % der bäuerlichen Betriebe im Berggebiet. Die österreichische Agrarpolitik ist daher seit jeher in besonderem Maße auf die Erhaltung der bäuerlichen Betriebe in diesen benachteiligten Gebieten ausgerichtet. Seit 1989 kooperiert das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen mit dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft im Rahmen von Verwaltungsübereinkommen. Eines betrifft die österreichische Waldzustandsinventur, ein weiteres die Einrichtung eines neuen Berghöfekatasters. Mit dem Berghöfekataster hat Österreich ein, wie sich zeigt EU-konformes Modell spezifischer Agrarpolitik geschaffen. Die Basisdaten des Katasters und der Landesaufnahme haben auch mitgeholfen, die EU-Beitrittsverhandlungen am Agrarsektor erfolgreich zu gestalten. Im Rahmen der österreichischen Bergbauernförderung sind sie die Grundlage eines nahtlos in die europäische Agrarpolitik integrierbaren produktionsneutralen und direkten Förderungsmodells. Die vom Kataster zu bewältigende Aufgabenstellung enthält insbesondere die Erhebung der agrarischen Nutzungsflächen im Bergbauerngebiet, deren Darstellung vor dem Hintergrund der Grundstücksinformation sowie deren Zuordnung zu bestimmten Höhenlagen und vor allem Hangneigungsstufen. Als Basisdatenbestände werden hierfür die Digitale Katastralmappe und das Digitale Geländemodell Österreichs herangezogen.

Diese mehrjährigen erfolgreichen Kooperationen mit dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft sind auch die Grundlage für eine durch den österreichischen Beitritt zur EU ausgelöste Einbindung des österreichischen Vermessungswesens in die Förderungs- und Kontrollandschaft der EU-Agrarpolitik. Die europäischen Landwirte haben 1995 rund 250 Milliarden Schilling, also etwa 35 Milliarden DM an Subventionen erhalten, die etwa für Ausgleichszahlungen, eine umweltgerechte und extensive, den natürlichen Le-

bensraum schonende Landwirtschaft, den Alternativanbau und die Flächenstillegungen, oder Tierhaltung bereitgestellt wurden. In der Alpenregion muß die Land- und Forstwirtschaft eine Vielzahl von Funktionen erfüllen können. Die wichtigsten davon sind:

- die Lebensmittelproduktion
- die Herstellung nachwachsender Rohstoffe und Energieträger
- die Landschaftspflege
- die Stabilisierung sensibler Ökosysteme
- die Erhaltung der genetischen Vielfalt
- die Sicherung der Wasser- und Bodenressourcen
- die Bewahrung des Dauersiedlungsraumes

und

- der Schutz vor Naturgefahren.

In den letzten Jahren vor dem österreichischen EU-Beitritt hat auch die Union ein hohes Maß an Flexibilität bewiesen. Durch die Anpassung der gemeinsamen Agrarpolitik an die geänderten Erfordernisse ist sie den österreichischen Grundsätzen der Agrarpolitik wesentlich näher genommen. Die vielfältige Aufgabenstellung der Landwirtschaft, die hohe Sensibilität der Gebirgsräume und die in vielen Gebieten eingetretene Entwicklung erfordert eine spezifische Agrarpolitik. Mit dem bestehenden System der Ausgleichszulage verfügt die EU über ein Instrumentarium, mit dem den Bauern in benachteiligten Gebieten die strukturellen Nachteile gegenüber Bauern in Gunstlagen ausgeglichen werden. Das Modell des Berghöfekatasters ist in das EU-weite Förderungsmodell einzubinden. Als flankierende Maßnahme zur Reform der gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) hat die EU eine Verordnung zur Förderung umweltgerechter Produktionsverfahren beschlossen. Österreich führt ein umfassendes Agrarumweltprogramm durch. Gemeinsam mit den notwendigen ökologischen Auflagen in den Marktordnungen kann damit die notwendige Ökologisierung der Landwirtschaft in Europa garantiert werden. Das Interesse Österreichs liegt in einer Intensivierung der Umweltprogramme, die als flankierende Maßnahme zur Agrarreform konzipiert sind. Österreich ist weiters das am dichtesten bewaldete Land Mitteleuropas. Mehr als 46 % des Bundesgebietes nehmen die Waldflächen ein. Der österreichische Wald befindet sich vorwiegend im Privateigentum. Das Hauptgewicht liegt am bäuerlichen Kleinwaldbesitz. Der Bauernwald ist ein wesentliches Einkommensstandbein der Landwirte speziell im Berggebiet. Dem Schutz und der Erhaltung der Wälder kommt daher hohe Bedeutung zu. Die Landwirtschaft prägt die ländlichen Regionen. Die Kulturlandschaft ist wesentlicher Bestandteil der kulturellen Identität eines Landes. Die Stabilität der ländlichen Regionen ist eine Grundlage für die Sicherheit der europäischen Länder. Programme zur Entwicklung und Stärkung des ländlichen Raumes haben daher aus österreichischer Sicht Priorität. Für den österreichischen Kataster schließt sich nach diesen wenigen überblicksartigen Feststellungen ein Bogen, der mit dem Kataster als Steuergrundlage eingeleitet worden ist. Die angezogenen Themenbereiche fordern in vielerlei Hinsicht

den Kataster heraus, nicht nur Steuergrundlage, sondern gleichzeitig auch objektives Instrument der europäischen Bodenpolitik zu sein. Der Kataster führt Informationen über den Rechtsstand und über den Naturstand. Wesentliche Elemente bodenpolitischer Kriterien finden sich in seinem Datenbestand. Nach Artikel 8 der Verordnung (EWG) Nr. 729/70 des Rates vom 21. April 1970 über die Finanzierung der gemeinsamen Agrarpolitik treffen die Mitgliedstaaten die erforderlichen Maßnahmen, um sich von der tatsächlichen und ordnungsgemäßen Durchführung der vom Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds (EAGFL) finanzierten Maßnahmen zu überzeugen und Unregelmäßigkeiten zu verhindern und zu ahnden. Ebenso sieht Artikel 23 der Verordnung (EWG) Nr. 4253/88 des Rates vom 19. Dezember 1988 zur Durchführung der Verordnung (EWG) Nr. 2052/88 hinsichtlich der Interventionen der verschiedenen Strukturfonds einerseits und zwischen diesen und den Interventionen der Europäischen Investitionsbank und der sonstigen vorhandenen Finanzierungsinstrumente andererseits dieselbe Art von Verpflichtung im Bereich landwirtschaftlicher Strukturpolitik vor. Zur Anpassung der Verwaltungs- und Kontrollmechanismen an die neue Situation sowie zur Verbesserung ihrer Effizienz und Rentabilität war es erforderlich, ein neues Integriertes Verwaltungs- und Kontrollsystem (INVEKOS) zu schaffen, das sowohl die Stützungsregelungen in den Sektoren verschiedener landwirtschaftlicher Kulturpflanzen als auch der Tierhaltung sowie spezifische Maßnahmen zugunsten der landwirtschaftlichen Berggebiete und bestimmter benachteiligter Gebiete umfaßt. Wegen der Komplexität eines solchen Systems sowie der Vielzahl der zu erwartenden Beihilfenanträge sind geeignete technische Mittel sowie Verwaltungs- und Kontrollmethoden unerläßlich. Das Integrierte Verwaltungsund Kontrollsystem muß daher auf einzelstaatlicher Ebene eine informatisjerte Datenbank, ein alphanumerisches System zur Identifizierung landwirtschaftlicher Parzellen, der Beihilfenanträge der Betriebe und ein integriertes Kontrollsystem umfassen. Die Identifizierung der landwirtschaftlichen Parzellen ist ein Schlüsselelement für die ordnungsgemäße Anwendung des integrierten Systems. Ein rund dreijähriger (in Österreich zweijähriger) Zeitraum für die schrittweise Einführung aller Elemente des Systems wurde vorgesehen. In die informatisierte Datenbank werden für jeden landwirtschaftlichen Betrieb die Daten aus den Beihilfenanträgen gespeichert. Die Daten sind für mindestens drei Jahre, in Sonderfällen fünf Jahre zurück, bereitzuhalten. Das alphanumerische System zur Identifikation der Parzellen stützt sich auf Katasterpläne und -unterlagen, anderes Kartenmaterial oder Luft- und Satellitenaufnahmen. Das integrierte System zielt insbesondere darauf ab, eine wirksame Durchführung der Reform der gemeinsamen Agrarpolitik zu ermöglichen. Für das Verständnis des Katasters ist insbesondere erforderlich, den Begriff "landwirtschaftlich genutzte Parzelle" zu hinterfragen. Für das österreichische Verständnis kommt der erschwerende Zustand hinzu, daß "Parzelle" die ursprüngliche Bezeichnung eines Grundstückes nach dem franziszeischen Kataster ist. Was manche Diskussionen nicht gerade erleichtert. "Parzelle" im Sinne der EU-Definition ist ein zusammenhängendes Stück Land, das von einem landwirtschaftlichen Betriebsinhaber für eine bestimmte Kultur genutzt wird. Diese Definition deckt sich erstaunlicherweise mit der seinerzeitigen "Parzellendefinition" des stabilen Katasters. Wenn man so will, war der franziszeische Kataster der - wenn auch nicht gerade auf die gerechte Förderung, so doch auf die gerechte Besteuerung angelegte Vorläufer - der Agrarpolitik der EU. Wegen der heute eigentumsorientierten Verpflichtung des Grenzkatasters und der geänderten landwirtschaftlichen Technologie und Zielsetzung decken sich die vorhandenen Grundstücke des Katasters nicht a priori mit den "Parzellen" des integrierten Systems. Dennoch ist der österreichische Kataster wesentlicher Bestandteil dieses Systems. Zur Sicherstellung der ordnungsgemäßen Abwicklung der Prämienanträge im Bereich der EU-Marktorganisation und damit zur Gewährleistung, daß die EU-Mittel, mit denen diese Maßnahmen ausschließlich finanziert werden von Österreich angesprochen werden können, wurde im ersten Quartal 1995 eine grundstücksbezogene und bewirtschaftungsorientierte Basiserhebung der landwirtschaftlichen Flächen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Erhebungen wurden nicht nur für die Abwicklung der Beihilfenanträge herangezogen, sie führen im Bereich des Katasters vor dem Hintergrund der Grundstücksdatenbank zum Aufbau "Agrarflächendatenbank". Diese - im Gegensatz zur stücksdatenbank - nichtöffentliche Datenbank enthält die landwirtschaftlichen Betriebe, die diesen zuzuzählenden Grundstücke - gleich ob im Eigentum oder einem Nutzungsverhältnis stehend - und die daraus gebildeten "Parzellen". Auf Grundlage der Digitalen Katastralmappe werden vom Kataster die Angaben über Betriebe und Parzellen grafisch dokumentiert. In Ergänzung hierzu kommt vor allem für den Bereich der Förderung einer umweltgerechten Landwirtschaft dem Bestand der vom Kataster dokumentierten amtlichen Bodenschätzung hohe Bedeutung zu. Ein wesentlicher Teil der Verwaltungskontrolle ist durch diese Integration von vornherein gewährleistet.

An den übrigen "vor Ort" Kontrollen wirkt das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen mit. Die österreichischen Vermessungsbefugten werden in das Gesamtmodell seitens des Katasters eingebunden.

5 Folgerungen

Sicherung des Eigentums an Grund und Boden, Kenntnis der Bodengüte und Bereitstellung der Grundlagen für eine geordnete Nutzung des Landes im Interesse einer maßvollen Inanspruchnahme beschränkter Ressourcen und der Bewahrung eines natürlichen Lebensraumes sind trotz verschiedener Wege der Katasterentwicklung in unterschiedlichen Ländern zur Gänze oder in Teilen die Grundinhalte der Zielsetzung, nach denen sich der Kataster auszurichten hat. Wenn auch im gegenständlichen Referat ausschließlich die Entwicklung des österreichischen Katasters als roter Faden der Ausführungen gewählt wurde, darf diese Erkenntnis aus der internationalen Zusammenarbeit, an der sich auch das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen beteiligt hat, gezogen werden. Der Kataster ist ein Abbild der historischen, politischen und sozialen Entwicklung im jeweiligen Staatsgebiet.

Das Nichtvorhandensein von Katastern in Reformländern, in denen häufig früher ebenfalls Kataster bestanden haben, beweist dies drastisch. In den Einzelstaaten bestehen daher durchaus unterschiedliche Ausprägungen katastraler Grundlagen.

Grundlagen, deren Wurzeln ebenfalls ins vorige Jahrhundert zurückreichen, teilweise noch nach der damaligen Zielsetzung ausgerichtet sind, aber auch Grundlagen die sich, wie am Beispiel gezeigt, schrittweise auch nach anderen Zielsetzungen orientiert haben. Ein sich als grundlegender Bestandteil der freien Wirtschaft verstehender, einerseits nach dem Recht auf Eigentum andererseits nach dem Interesse der Gemeinschaft an einem gewissen Verfügungsrecht über Grund und Boden ausgerichteter Kataster wird von sich aus jene Schritte zu setzen haben, die dem Kern der europäischen Entwicklung Rechnung tragen und damit objektives Werkzeug europäischer Bodenpolitik werden. Es wäre verfehlt, verantwortliche Entscheidungsträger nicht darauf hinzuweisen, daß mit dem Kataster ein leistungsfähiges Instrumentarium zur Verfügung steht, das neben seinen traditionellen Aufgaben, nicht nur einzelstaatlichen sondern auch gemeinschaftlichen Zielsetzungen dienlich sein kann. Einen wesentlichen Faktor der künftigen Entwicklung wird die Bereitschaft des staatlichen Katasters zur Zusammenarbeit sowohl interdisziplinär als auch mit privaten Vermessungsbefugten bilden.

Von Gauß zu Baeyer und Helmert

Frühe Ideen und Initiativen zu einer europäischen Geodäsie

Wolfgang Torge, Hannover

Einleitung

Die Entwicklung der Geodäsie¹ zu einer eigenständigen Wissenschaft begann im 17. Jahrhundert mit der von der Pariser Akademie der Wissenschaften gestellten Frage nach der "Figur der Erde"2. Es sind dann auch fast ausschließlich französische Wissenschaftler, welche die berühmten Gradmessungen des 17. und 18. Jahrhunderts ausführen und Theorien zur Gestalt der Erde entwickeln. Auf nationaler Ebene entstehen im 18. Jahrhundert die ersten staatlich organisierten oder geförderten Landesaufnahmen zur Herstellung topographischer Karten3. Auch hierbei ist Frankreich mit der Triangulation (1733-1750) für die unter Cassini de Thury erstellte "Carte géométrique de la France" (Maßstab 1:86400) führend. Die englische Landesvermessung unter W. Roy und seinen Nachfolgern beginnt mit der trigonometrischen Verbindung der Sternwarten von Paris und Greenwich. In den deutschen Ländern ist die wissenschaftliche Geodäsie und ihre großräumige Anwendung dagegen weit weniger entwickelt. Die größeren Landesaufnahmen stützen sich noch nicht auf eine einheitliche geodätische Grundlage, vielmehr wird durch Zusammenfügen der Einzelblätter (Meßtischaufnahme) über Standlinien vom "Kleinen ins Große" gearbeitet, mit gelegentlicher Kontrolle durch astronomische Ortsbestimmungen. Beispielhaft hierfür ist die kurhannoversche Landesaufnahme (1764 - 1786)4; eine Ausnahme bildet die Detailaufnahme von

Der Begriff "Geodäsie" wird hier im Sinne der "Höheren Geodäsie" nach Helmert ("Geodesy" im englischen Sprachraum) verwendet, wobei in diesem Beitrag speziell die globalen und regionalen Aspekte von Erd- und Landesvermessung angesprochen werden.

² Zur Geschichte der Geodäsie siehe BIALAS (1982), einführende Kapitel finden sich in Lehrbüchern der Geodäsie, z.B. TORGE (1991).

³ Für den mitteleuropäischen Raum siehe hierzu LIPS (1936/1937).

⁴ Siehe hierzu BAUER (1993). Ausführliche Erläuterungen zur Vermessungsgeschichte in Norddeutschland finden sich in GROSSMANN (1955).

Sachsen, die auf einem ab 1780 von *F.L. Aster* angelegten Landesdreiecksnetz aufbaut.⁵

Angeregt und teilweise direkt ausgelöst durch die Arbeiten in Frankreich und anderen Nachbarländern vollzieht sich der Übergang zu einer "modernen" Geodäsie in Deutschland erst in und nach der napoleonischen Zeit. Nun wenden sich aber auch hier herausragende Wissenschaftler und Praktiker der Frage der Erdfigur zu, meist in Verbindung mit neuen Landesvermessungen. Dabei wird einerseits die geodätische Modellbildung weiterentwickelt, zum anderen werden erhebliche Fortschritte in der Bestimmung von Größe und Figur der Erde einschließlich der Erfassung regionaler Strukturen erzielt. Ein wesentliches Merkmal dieser maßgeblich von deutschen Arbeiten geprägten Geodäsie des 19. Jahrhunderts ist der internationale (europäische) Aspekt, der schließlich auch zur Gründung einer internationalen Organisation der geodätischen Wissenschaft führt.

Wir gehen im folgenden dieser Entwicklung nach und beginnen mit der im 18. Jahrhundert abgeschlossenen Einführung des ellipsoidischen Erdmodells, wobei auch schon erste Zweifel hieran auftreten. Die an der Wende des 18. Jahrhunderts in stärkerem Maße durchgeführten Triangulationen geben dann nicht nur der Landesvermessung, sondern auch der Erdmessung neue Impulse. Gauß und Bessel gehen in der geodätischen Modellbildung zur Erdfigur einen entscheidenden Schritt weiter, die in Quantität und Qualität zunehmenden geodätischen Datensätze können so wieder angemessen ausgewertet werden. Die bereits früh als notwendig erkannte internationale Zusammenarbeit wird schließlich durch Baeyer in eine europäische Wissenschaftsorganisation mit definierter Zielsetzung gefaßt, unter Helmert erlebt diese "Internationale Erdmessung" dann einen ersten Höhepunkt. In einem Ausblick weisen wir schließlich beispielhaft auf heutige Arbeiten dieser jetzt über 130 Jahre alten internationalen Organisation hin, in der Deutsche weiterhin intensiv mitwirken.

2. Das Ellipsoid als Erdmodell und erste Zweifel hieran

Bereits im 17. Jahrhundert war das an den Polen abgeplattete Rotationsellipsoid von Seiten der Physik und Astronomie als Erdfigur postuliert worden. Dieses Modell stützte sich auf die Theorie der Gleichgewichtsfiguren rotierender Körper (*Newton* 1687, *Huygens* 1690), die beobachtete Abplattung des Jupiter (*J.D. Cassini* 1666) und die Breitenabhängigkeit von Schwerewerten

⁵ Zu den mit den Namen Aster und Nagel verknüpften Landesaufnahmen von Sachsen (1780 - 1852 bzw. 1867 - 1928) siehe TÖPFER (1981).

(Richer 1672). Der geometrische Nachweis der Polabplattung schlug dagegen zunächst fehl. Die für den nördlichen und den südlichen Teil getrennt durchgeführte Auswertung der Gradmessung im Meridian von Paris (J.D. Cassini, La Hire, J. Cassini, 1683 - 1718) widersprach mit einem negativen Abplattungswert (-1/95) sogar der Polabplattung. Der folgende wissenschaftliche Streit wurde schließlich durch die von der Akademie in Paris initiierten berühmten Gradmessungen in Lappland und Peru entschieden. Bereits die Kombination des Lappland-Bogens (Maupertuis, Clairaut u.a., 1736/1737) mit dem überprüften Paris-Meridianbogen (Cassini de Thuru, La Caille) lieferte einen plausiblen Abplattungswert von 1/304. Weitere Gradmessungen und unterschiedliche Kombinationen folgten, wobei die Kombination von mehr als zwei Bögen natürlich das Problem aufwarf, die Widersprüche sinnvoll zu behandeln. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts entwickeln sich die Meßverfahren⁶ und die Auswertemethoden⁷ wesentlich weiter, so daß den Resultaten (insbesondere der Abplattung) eine höhere Genauigkeit zugeschrieben werden kann. Wir nennen beispielhaft einige der im 18. Jahrhundert berechneten Abplattungswerte⁸:

überprüfter Paris-Meridianbogen/Lapplandbogen
 (Cassini de Thury 1740) ⇒ 1/304
 Perubogen/Lapplandbogen (La Condamine 1751) ⇒ 1/210
 Perubogen/überprüfter Parisbogen (La Condamine 1751) ⇒ 1/302
 Kombination Peru/Frankreich/Lappland/Südafrika/Kirchenstaat
 (Boscovich 1755) ⇒ 1/255
 Peru/Paris-Meridian (Delambre, Comm. Gen. des Poids et
 Mesures 1799) ⇒ 1/334.

Die Abplattungswerte aus verschiedenen Berechnungen differieren also erheblich, auch überschreiten die an den Beobachtungen anzubringenden Korrektionen bald die Meßgenauigkeit, besonders beim Vergleich der astronomisch und geodätisch bestimmten Breitenunterschiede. Dies führt bereits im 18. Jahrhundert zu Versuchen, diese Diskrepanzen zu erklären und durch verschiedene Strategien das Ellipsoidmodell als globale oder regionale Erdfigur

⁶ Eine wesentliche Genauigkeitssteigerung gelingt mit dem Basismeßapparat und dem Repetitionskreis von Borda bei der für die Meterdefinition vorgenommenen Neuvermessung des Meridianbogens von Paris durch Delambre und Méchain (1792 - 1798).

Die Methode der Kleinsten Quadrate wird 1799 von C.F. Gauß auf vier Teilstücke des Meridianbogens von Paris angewandt, wobei sich die Ellipsoid-Abplattung zu 1/187 ergibt. Mit dieser frühen Arbeit auf dem Gebiet der Erdmessung kündigt sich der im 19. Jahrhundert maßgebliche deutsche Beitrag zur Geodäsie an.

Eine ausführliche Zusammenstellung der bis 1950 berechneten Ellipsoide findet sich bei STRASSER (1957).

beizubehalten. Sehr früh (Bouguer 1739, Boscovich 1739) werden lokale Störungen der Lotrichtung durch die Topographie (Gebirgsmassen) und die Geologie (Massendefizite unter den Hochgebirgen) erkannt. Auch die großräumigen Massenanomalien durch die ungleichmäßige Verteilung von Kontinenten und Ozeanen werden für die verschiedenen Resultate der Ellipsoidberechnungen verantwortlich gemacht. Zur Lösung dieser Probleme werden verschiedene Ansätze vorgeschlagen. So sollen bei der Auswahl der Gradmessungspunkte lokale Anomalien vermieden bzw. durch eine Korrektion berücksichtigt werden. Die großräumige Abhängigkeit soll durch eine von der geographischen Breite (Laplace 1802) bzw. Länge⁹ abhängige Abplattung erfaßt werden.

Diese Ansätze konnten jedoch auf Dauer nicht befriedigen. Zweifel am Ellipsoidmodell finden wir dann auch u.a. bei *Delambre* (1806):

"...Seit dieser Zeit waren mehrere Grade in verschiedenen Ländern gemessen ... war der Vergleich der Messungen nur geeignet, um Zweifel an der Ähnlichkeit und Regelmäßigkeit der Krümmung der Meridiane zu veranlassen. Später wird man vielleicht einsehen, ... daß die Erde kein genauer Umdrehungskörper ist; ..."

und bei Späth (1816)10

"...Es würde sich das Problem über die Figur und Größe der Erde umso besser lösen, je mehr Meridian- und Parallelkreisgrade unserer Erde mit größter Genauigkeit an Orten gemessen wurden, wo das Loth nicht zur Seite afficirt werden kann ..."

Um 1800 war die Zeit reif für eine verbesserte Definition des Begriffs "Erdfigur", wie sie später von <code>Gauß</code> und <code>Bessel</code> vorgenommen wurde (Kapitel 4). Die Landesvermessung vollzieht in dieser Zeit sowohl bei den militärischen als auch bei den administrativen Zielsetzungen den Übergang zur Triangulation, so daß qualitativ höherwertiges Datenmaterial auch von dieser Seite für die Grundaufgabe "Bestimmung der Figur der Erde" verfügbar wird. Wir wenden uns nun zunächst dieser Übergangsphase zu.

So schlägt Soldner 1804 eine Gradmessung in West-Afrika vor, um durch Kombination mit den Messungen in Europa einen Abplattungswert für diesen Meridianbereich zu erhalten (SOLDNER 1810).

Johann Leonhard Späth hat mit seinem Buch "Die h\u00f6here Geod\u00e4sie oder die Wissenschaft, die Reiche der Erde, und diese selbst, geographisch aufzunehmen und zu chartieren, Erste Abtheilung, M\u00fcnchen 1816", wohl das erste deutschsprachige Lehrbuch zur Erd- und Landesvermessung verfa\u00e4t.

Triangulationen an der Wende zum 19. Jahrhundert - eine Übergangsphase

Gegen Ende des 18. und zu Beginn des 19. Jahrhunderts entstehen in Westeuropa einige Triangulationen mit wissenschaftlicher Zielsetzung. Es sind dies die Verbindung der Sternwarten von Paris und Greenwich (1784 - 1787) und die erneute Vermessung des Meridianbogens von Paris zur Realisierung der Meterdefinition (Delambre und Méchain, 1792-1798). Mit der Verlängerung dieses Bogens bis zu den Balearen (Biot u. Arago, 1807/1808) und im Rahmen der englischen Landesvermessung (Roy, Mudge, Colby, James, etwa bis 1850) bis zu den Shetland-Inseln liegt so in Westeuropa ein ausgedehnter Meridianbogen hoher Qualität vor (vgl. LIPS 1936/1937). Die Neuvermessung des Lapplandbogens (Svanberg 1801-1803) liefert ein erstes Teilstück des ebenfalls bis zur Jahrhundertmitte entstehenden russisch-skandinavischen Meridianbogens zwischen Hammerfest und der Donaumündung (vgl. Kapitel 4). In Mitteleuropa und speziell in Deutschland können wegen der politischen Zersplitterung und der kriegerischen Ereignisse solche großräumigen Operate nicht entstehen, sie regen jedoch zu entsprechenden Arbeiten an, wie später erläutert wird.

Von Bedeutung hierfür werden auch die im Rahmen der napoleonischen Expansion von den französischen Ingenieurgeographen durchgeführten Vermessungen¹¹. Sie haben das Ziel, die französische Karte 1:86400 auf die besetzten Gebiete auszudehnen. So werden die linksrheinischen Gebiete durch Tranchot (1802-1809), Hannover durch Epailly (1805-1806), das Oberrheingebiet durch Henry (1804) und Bayern durch Bonne (1801-1807) trianguliert. Eine flächenhafte Vermessung der Batavischen Republik findet von 1802 bis 1811 durch Krayenhoff statt (HAASBROEK 1972). Bemerkenswert für unsere Betrachtungen ist dabei nicht die wissenschaftlich-geodätische Nutzung dieser Militärtriangulationen, sondern die von ihnen für die folgenden genaueren Arbeiten ausgehenden Anregungen und Hilfestellungen. So wird die Triangulation der Rheinlande ab 1814 durch den General von Müffling fortgesetzt mit dem Ziel, in den westlichen Provinzen Preußens die Generalstabskarte (weiterhin im Maßstab 1:86400) herzustellen (ALBRECHT 1980). Gauß benutzt die Ergebnisse von Epailly für die Erkundung der hannoverschen Gradmessung und der Triangulation des Königreiches Hannover, und er verbindet diese Triangulation im Westen mit dem Krayenhoffschen Dreiecksnetz. In Bayern schließt Soldner zwischen 1810 und 1820 bei der von der Steuervermessungs-

¹¹ Zu den Arbeiten der französischen Ingenieurgeographen siehe u.a. SCHMIDT 1960, ALBRECHT 1980, LEVALLOIS 1988.

kommission beschlossenen Neuvermessung an das Dreiecksnetz von *Bonne* an, wobei er in Theorie und Praxis den Übergang zu den hochwertigen Triangulationen des 19. Jahrhunderts einleitet.

Besonders hinzuweisen ist auch auf die vielfältigen Kontakte, die in dieser Zeit in Deutschland zwischen den Personen geknüpft werden, welche die geodätische Entwicklungen in den folgenden Jahrzehnten maßgeblich bestimmen. So unterstützt etwa Gauß 1799 den preußischen Oberst von Lecog bei dessen Militärtriangulation (1795-1805) von Westfalen durch astronomische Beobachtungen und Berechnungen (GALE 1924). An dieser Triangulation nimmt bereits v. Müffling von 1796 bis 1802 teil, der später (1822) bei der Vermessung einer Dreieckskette zwischen Bentheim und Kassel (s. auch Kapitel 4) wiederum auf den Epailly'schen Dreiecken aufbaut. Direkt angesprochen wird die Erdmessungsaufgabe durch Franz Xaver von Zach, den Direktor der Sternwarte auf dem Seeberg bei Gotha. Er war 1802 vom König von Preußen zur Vermessung Thüringens aufgefordert worden und hatte hieraus den Plan zu einer großen deutschen Gradmessung von 4° Breite und 6° Länge entwickelt (GALLE 1924). Gauß und v. Müffling wirkten bei diesen Arbeiten von 1803 bis 1805 durch geodätisch-astronomische Messungen und an der Seeberger Basismessung (1803) mit. Durch die Kriegsereignisse von 1806 erfuhr dieses erste Erdmessungsunternehmen auf deutschem Boden dann ein vorzeitiges Ende.

Grad- und Landesvermessungen in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts und die neue Definition der Erdfigur

Der napoleonisch geprägten Übergangsphase folgen auch in Zentral- und Osteuropa staatlich organisierte Landesvermessungen, wobei der übergeordnete Gesichtspunkt der Gradmessungen meist berücksichtigt wird.

Zeitlich an der Spitze liegt die in Originalität und Qualität aus den Arbeiten der Zeit herausragende neue bayerische Landesvermessung (1808 - 1828), die mit dem Namen von *Johann Georg von Soldner* verbunden ist. Beispielhaft für die Neuerungen steht hier die Winkelmessung mit dem Reichenbachschen Repetitionstheodolit, die Einführung der Soldner-Koordinaten und die Entwicklung einer vollständigen Theorie der Landesvermessung (ZIEGLER 1993). Für Norddeutschland wird die mit einer Breitengradmessung beginnende dänische Landesvermessung (1816 - 1870) von Bedeutung (EGGERT 1916). *H. Chr. Schumacher* greift dabei den Gedanken einer Gradmessung durch Zentral-

Heinrich Christian Schumacher, Direktor der Sternwarte in Altona, studierte 1808/1809 in Göttingen bei Gauß.

europa auf. In einem Brief an C.F. Gauß 13 regt er am 8. Juni 1816 die Fortsetzung der dänischen Gradmessung durch Hannover an:

"... Der König hat mir die nötigen Fonds zu einer Gradmessung von Skagen bis Lauenburg ... und eine Längengradmessung von Kopenhagen bis zur Westküste Jütlands ... bewilligt ... wäre es nicht möglich, daß Sie ... durch Hannover fort bis gegen Gotha, oder bis an die bayerischen Dreiecke führten ..."

Gauß reagiert umgehend (am 5. Juli 1916) sehr positiv:

"... Diese Gradmessung in den k.dänischen Staaten wird uns ... über die Gestalt der Erde schöne Aufschlüsse geben. Ich zweifle indessen garnicht, dass es in Zukunft möglich zu machen sein wird, Ihre Messungen durch das Königreich Hannover südlich fortzusetzen ..."

Mit Anordnung König Georg IV (09. Mai 1820) wird Gauß dann mit der Fortsetzung der dänischen Gradmessung durch Hannover beauftragt (GROSS-MANN 1955). Unter Anschluß an die 1820 von Schumacher gemessene Basis Braak sind dann die hannoversche Gradmessung (1821 - 1824) und die anschließende (bis 1844) Landesvermessung des Königreichs Hannover bekanntlich Höhepunkte geodätischen Wirkens von Gauß (GERARDY 1955). Beispielhaft hierfür stehen die Erfindung des Heliotops, die rechnerische Bearbeitung mit der Methode der kleinsten Quadrate und die hier erstmals angewandte konforme Meridianstreifenabbildung des Ellipsoids in die Ebene, wenn auch die nicht dauerhafte Vermarkung der trigonometrischen Punkte bald Anlaß zur Kritik gab (GAEDE 1885). Gauß sieht seine Gradmessung von Anfang an als Teil einer europäischen Gradmessung, wie ein Brief an Gerling vom 05. Oktober 1821 zeigt (LEHMANN 1955):

"Die genaueste Kenntnis der relativen Lagen der interessantesten Punkte eines Landes kann in vielfacher Beziehung nützlich sein, auch ganz abgesehen davon, daß eine Detailvermessung darauf am besten zu stützen ist. Es wäre gewiß äußerst wichtig, wenn der größte Teil von Europa vollständig mit einem Netz überzogen wäre, und nach und nach werden wir dahin kommen; jeder Staat sollte es sich zur Ehre rechnen, seinen Anteil daran so gut zu liefern, daß er würdig sei, neben den besten zu stehen."

¹³ Zu den geodätischen Arbeiten von Carl Friedrich Gauß siehe u.a. GALLE (1924), ferner GROSSMANN (1955) und LEHMANN (1955).

So schließt er die hannoversche Gradmessung nicht nur im Norden an den dänischen Meridianbogen und im Westen an die Krayenhoffsche Triangulation der Niederlande, sondern auch im Süden an die Müfflingsche Dreieckskette an (siehe unten). Diese Verbindung nach Süden wird durch die Landesvermessung Kurhessens unter *C.L. Gerling*¹⁴ wesentlich verbessert, womit auch der Übergang zum Dreiecksnetz in Bayern erreicht ist. Gauß dachte u.a. auch an die Einbeziehung der Ergebnisse der württembergischen Landesvermessung unter *Johann Bohnenberger*¹⁵ und der Triangulation von Hessen-Darmstadt durch *Eckhardt*¹⁶.

Der Gedanke einer europäischen Ausweitung der Gradmessung wird auch durch die preußischen Militärtriangulationen unter Freiherr von Müffling¹⁷ weitergetragen (LIPS 1936/1937, SCHMIDT 1973). Unter Anschluß an die Arbeiten von *Lecoq* und *Tranchot* (s. Kapitel 3) sollten so die Grundlagen für die Karten 1:86400 (in den westlichen Provinzen Preußens) bzw. 1:100 000 geschaffen werden. So entstanden, vom Rheinland ausgehend, Dreiecksketten über Hessen und Thüringen bis Berlin (1820) und Breslau (1828), schließlich wurde auch Ostpreußen angeschlossen (1832). Müffling hat die Idee, aus den ab Ende des 18. Jahrhunderts entstandenen Triangulationen eine Längengradmessung von Dünkirchen bis zum Seeberg bei Gotha zu entwickeln, er bezieht deshalb auch diesen Punkt in seine Dreiecksketten ein. Erwähnt sei, daß von Müffling auch ein Erdellipsoid mit der Abplattung 1/315 berechnet, das bis 1875 in der preußischen Landesaufnahme benutzt wird. Für die nächste Periode deutscher Aktivitäten in der Geodäsie ist bedeutsam, daß J.J. Baeuer ab 1816 unter von Müffling an diesen Arbeiten teilnimmt.

In Rußland begannen im Jahr 1816 (unter General *Tenner*) ausgedehnte Triangulierungen für die Militärkartographie, wobei auf die Nutzung als Gradmessungen bereits Rücksicht genommen wurde (TRUCK 1903). Ausgang hier-

Christian Ludwig Gerling war ein Schüler von Gauß (studierte 1810 - 1812 in Göttingen).
Er leitete die 1822 - 1824 und 1835 - 1837 durchgeführte Triangulation Kurhessens (REINHERIZ 1901, APEL 1976).

Johann Bohnenberger hatte von 1818 bis 1831 Württemberg mit einer qualitativ hochwertigen Landesvermessung überzogen ("ordinatentreue Abbildung").

¹⁶ Christian Leonhard Philipp Eckhardt führte 1804 - 1807 und 1809 - 1834 die Triangulation von Hessen-Darmstadt durch.

¹⁷ Karl Freiherr von Müffling leitete von 1820 bis 1829 die trigonometrischen und topographischen Arbeiten des preußischen Generalstabs. 1821 wurde er Chef des Generalstabs der Armee (SCHROEDER-HOHENWARIH 1958, ALBRECHT 1980).

für war die von *W. Struve*¹⁸ durchgeführte Breitengradmessung im Baltikum (1821 - 1831), die dann bis 1852 durch *Struve* und *Tenner* in Zusammenarbeit mit skandinavischen Wissenschaftlern zu einem von Hammerfest bis zur Donaumündung reichenden Meridianbogen erweitert wurde. 1829 wird von russischer Seite angeregt, die Triangulationen im Baltikum mit den preußischen Dreiecksketten zu verbinden. *Bessel*¹⁹ gibt hierzu (1829) eine dienstliche Stellungnahme ab und weist dabei bereits auf die Bedeutung einer solchen Verbindung für die Erdmessung hin:

"... durch die Vergleichung der geodätischen Verbindung von Königsberg und Dorpat, mit derjenigen welche durch astronomische Beobachtungen gegeben worden ist, ein neues Resultat für die Figur der Erde zu erlangen ..."

Aus der reinen Verbindungstriangulation wird durch eine Basismessung bei Königsberg (Besselscher Basisapparat) und astronomische Ortsbestimmungen eine eigenständige Gradmessung. An dieser Gradmessung in Ostpreußen (1831 - 1836) nimmt von Seiten des preußischen Generalstabs der hierzu abgeordnete Major *J.J. Baeyer*²⁰ teil, und die Zusammenarbeit zwischen dem an Ideen reichen Astronomen Bessel und dem in der Feldarbeit der Triangulation erfahrenen Geodäten *Baeyer* erwies sich als überaus erfolgreich (EGGERT 1911). Die hohe Qualität der Gradmessung macht sie zum Vorbild für spätere Arbeiten und gibt Anlaß, die bisherigen Triangulationen in Preußen als wissenschaftlich unzureichend anzusehen²¹.

Wilhelm Struve war Direktor der Sternwarte Dorpat und der 1839 gegründeten Sternwarte in Pulkovo (DEUMLICH 1964). Er regte später (1857) auch eine europäische Längengradmessung an, woraus sich schließlich der Parallelkreisbogen in 52° Breite bis zum Ural entwickelte (1864 - 1872).

Der Astronom Friedrich Wilhelm Bessel war ab 1810 Professor an der Universität Königsberg und Direktor der 1813 fertiggestellten Sternwarte. Seine geodätischen Arbeiten haben Theorie und Praxis in Grad- und Landesvermessung entscheidend verbessert (SEEBER 1984).

Johann Jacob Baeyer wird nach trigonometrische-topographischen Arbeiten im Rheinland (ab 1817) unter von Müffling 1821 zum Generalstab kommandiert, steigt dann rasch auf und leitet schließlich als Dirigent von 1843 bis 1857 die Trigonometrische Abteilung des Großen Generalstabes. Zu Baeyers Wirken in dieser und der folgenden Epoche siehe u.a. BUSCHMANN (1994), vgl. auch TORGE (1994).

Es beginnt dementsprechend in Preußen eine Erneueung der Triangulation mit wissenschaftlicher (auf Bessel aufbauender) Durchdringung. Diese "Besselsche Epoche" der preußischen Landesvermessung wird erst ab 1875 durch Schreiber abgelöst.

In der Abschlußpublikation (Berlin 1838) "Gradmessung in Ostpreußen und ihre Verbindung mit preussischen und russischen Dreiecksketten. Ausgeführt von F.W. Bessel, Director der Königsberger Sternwarte, J.J. Baeyer, Major im Generalstabe" wird der Erdmessungsgedanke noch einmal klar herausgestellt:

"... eine Verbindung, welche, indem sie auch die meisten europäischen Sternwarten berührt und also, durch die Vergleichung häufiger und über den größten Theil von Europa vertheilten astronomischen Beobachtungen, mit der beziehungsweisen Lage für die Bestimmung der Figur der Erde, wenigstens in dem Umfange dieses Welttheils zu erhalten, welche den darauf zu gründenden Schlüssen viel größeres Gewicht verhiess, als die abgesonderten Gradmessungen bisher haben gewähren können..."

Die Idee der Verbindung ausgedehnter Dreiecksketten in Europa führt in der Folge zu weiteren Anschlußmessungen der preußischen Triangulationen an die russischen Dreiecksketten, so unter Baeyer bei Thorn (1853) und Tarnowitz (1852/54) sowie bei Augustowo (1858/59). Die von Baeyer geleitete Küstenvermessung im Ostseebereich (1837-1846) verbindet auch nicht nur Ostpreußen mit den Müfflingschen Ketten bei Berlin (hier entsteht der für die Orientierung des preußischen und später des deutschen Hauptdreiecksnetzes maßgebliche Fundamentalpunkt Rauenberg), sondern schließt auch an die dänische Landesvermessung und damit über die hannoversche Gradmessung schließlich an den westeuropäischen Meridianbogen an.

Von den weiteren deutschen Landesvermessungen aus dieser Epoche sei hier zunächst die (räumlich auf rund 1000 km² begrenzte) Triangulation des Herzogtums Gotha (1835 - 1840) durch *P.A. Hansen* ²² genannt. Sie übernimmt die Basis aus der Müfflingschen Dreieckskette vom Rhein nach Berlin und dient als Grundlage für die Katastervermessung. In Mecklenburg legt *Friedrich Paschen* (Schüler von *Gauß*) von 1853 bis 1873 ein Dreiecksnetz an und verbindet es im Osten mit der Küstenvermessung von *Baeyer*, im Westen mit der dänisch-hannoverschen Gradmessung (ZIMMERMANN 1986). An die Gaußsche Triangulation des Königreiches Hannover schließt die Triangulation von Oldenburg (1835 - 1837) durch *P.A. von Schrenck* an.

Peter Andreas Hansen hatte ab 1820 an der d\u00e4nischen Gradmessung von Schumacher teilgenommen und war ab 1825 Direktor der Seeberg-Sternwarte bei Gotha. Hansen vertrat in der Mitteleurop\u00e4ischen Gradmessung das Herzogtum Sachsen-Coburg-Gotha als Gradmessungskommissar, von 1864 bis 1868 war er der erste Pr\u00e4sident der Permanenten Kommission der Europ\u00e4ischen Gradmessung (ZIMMERMANN 1995).

In Verbindung mit den genannten Arbeiten zur Bestimmung der Erdfigur (Gradmessungen) findet nun in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts auch eine verfeinerte Definition der "mathematischen" Erdfigur statt, welche mit den Namen Gauß und Bessel verknüpft ist. So stellt Gauß in einem Brief an Schumacher (20. Dezember 1823) bei der Diskussion der zwischen Göttingen und Altona gefundenen Lotabweichung von 5.5" fest:

"... so beweiset dies nur, daß im Kleinen die Erde gar kein Ellipsoid ist, sondern gleichsam wellenförmig von dem die Erde im Großen darstellenden Ellipsoid abweicht ..."

In der Veröffentlichung zur hannoverschen Gradmessung (1828) "Bestimmung des Breitenunterschiedes zwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona" findet sich dann die Definition:

"... 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..."

Damit ist mit der später "Geoid" genannten Fläche eine physikalisch definierte Erdfigur eingeführt, das Ellipsoid übernimmt die Rolle eines geometrisch einfachen und das Geoid approximierenden Erdmodells:

"Bei dieser Lage der Sache hindert aber noch nichts, die Erde im ganzen als ein Revolutionssphäroid zu betrachten, von dem die wirkliche (geometrische) Oberfläche überall bald in stärkern, bald in schwächern, bald in kürzern, bald in längern Undulationen abweicht."

Gauß äußert auch den später von Baeyer realisierten Gedanken einer "Europäischen Gradmessung":

"... vielleicht ist die Aussicht nicht chimärisch, daß einst alle Sternwarten von Europa trigonometrisch unter einander verbunden sein werden ..."

Auch Bessel stellt im Zusammenhang mit der Bearbeitung der ostpreußischen Messungen fest, daß die tatsächliche "mathematische" Erdfigur merkliche Abweichungen von einem Rotationsellipsoid aufweist (Abh. F.W. Bessel, Band III, S. 129, Herausg. von R. Engelmann, Leipzig 1875/76, vgl. SEEBER 1984):

"Wenn man auch diese Oberfläche der Erde im ganzen als der Oberfläche eines elliptischen Rotationssphäroides nahe kommend betrachtet, so kann man doch nicht läugnen, dass beide nicht vollkommen zusammenfallen. Die vorhandenen Messungen von Meridianbögen zeigen nämlich entschiedene Unregelmäßigkeiten des Fortschreitens der Polhöhen, welche man als Folgen kleiner Erhöhungen der Oberfläche der Erde über, oder ihrer Vertiefungen unter der Oberfläche des zur Vergleichung genommenen Rotationssphäroides ansehen muß..."

Den besonderen Wert der ostpreußischen Gradmessung sah er in der Verbindung der bisher getrennten europäischen Gradmessungen:

"Soll eine Gradmessung als ein Beitrag zur Bestimmung des elliptischen Rotationssphäroides angesehen werden, von welchem sich die Erdoberfläche in dem Umfange des gemessenen Bogens nur in ihren kleinen Unregelmäßigkeiten entfernt, so wird sie diesen Beitrag offenbar mit desto größerer Sicherheit liefern, je größer ihre Ausdehnung ist und je kleiner daher das Verhältnis der Unregelmäßigkeiten an ihren Endpunkten zu dem Ganzen angenommen werden kann. Die Verbindung aller europäischen Gradmessungen untereinander wird also die Kenntnis der diesem Welttheile am meisten entsprechenden regelmäßigen Oberfläche kräftiger fördern, als diese Unternehmungen abgesondert haben thun können."

Europäische und außereuropäische Bedeutung erlangt schließlich auch das von Bessel (1841) aus 10 Gradmessungen berechnete Ellipsoid (Abplattung 1/299.15), das in vielen Ländern der Erde Grundlage für die Berechnungen der Landesvermessung wurde und teilweise (wie in Deutschland) bis heute ist.

Mit diesen Fortschritten in der Anlage und Auswertung von Gradmessungen und mit der neuen Definition des Begriffs "Erdfigur" war die Zeit reif zur Realisierung eines astrogeodätischen Netzes in Europa. Hierzu bedurfte es eines tatkräftigen Organisators, der in Wissenschaft und Praxis anerkannt war. Diese Rolle übernahm *Johann Jacob Baeyer* und leitete so die nächste Epoche europäischer Geodäsie ein.

Die Wissenschaftsorganisation - von der europäischen zur globalen Geodäsie

Johann Jacob Baeyer hat in der Zusammenarbeit mit von Müffling, Struve und Bessel die Bedeutung großräumiger astrogeodätischer Systeme für die Bestimmung der Figur der Erde erkannt. Seine erste Schaffensperiode endet mit dem Ausscheiden aus der Armee (1858), in ihr begründete er seinen Ruf als geodä-

tischer Wissenschaftler und Praktiker23. Die folgenden Jahrzehnte bis zu seinem Tode im Jahre 1885 widmet er zunächst seinen wissenschaftlichen Interessen, als Beauftragter für den preußischen Teil der Struve'schen Längengradmessung in 52° Breite sind das in noch stärkerem Maße die Gradmessungen. Mit dem im April 1861 dem preußischen Kriegsministerium vorgelegten "Entwurf zu einer mitteleuropäischen Gradmessung" aber gelingt ihm der große Wurf zur zunächst europäischen, später internationalen Organisation der geodätischen Wissenschaft. In der Schrift "Über die Größe und Figur der Erde, eine Denkschrift zur Begründung einer mitteleuropäischen Gradmessung von J.J. Baeyer, Berlin 1861" erläutert Baeyer sein Projekt. Nach einem geschichtlichen Rückblick wird der Entwurf einer mitteleuropäischen Gradmessung vorgestellt, welche den französisch-englischen Gradmessungen im Westen (Meridian von Paris) und den russisch-skandinavischen im Osten (Meridian von Dorpat) ein gleichwertiges Operat in Mitteleuropa hinzufügen soll. Dabei wird auch der geophysikalisch-geologische Informationsgehalt der geodätischen Arbeiten angesprochen:

"Die neu angeregten Fragen betreffen die merkwürdigen Abweichungen in der Krümmung der Erdoberfläche, die an einzelnen Stellen beobachtet wurden, und die Erforschung der diesen Abweichungen zum Grunde liegenden Ursachen; sie umfassen also Untersuchungen, die nicht blos die specielle Krümmung, sondern auch die Beschaffenheit der Erdschichten an diesen Stellen zum Gegenstand haben, und die deshalb viel tiefer in das Gebiet der Naturwissenschaften eingreifen als die bisherigen Gradmessungen.

Der Westen und Osten Europa's hat mit grosser Ausdauer und Energie an der Lösung der allgemeinen Aufgabe gearbeitet; die specielle bleibt Mitteleuropa vorbehalten, oder vielmehr sie fällt ihm zu; denn es ist begünstigt durch vorzugsweise geeignete Lokalverhältnisse; es hat sehr zahlreiche Sternwarten und dadurch bedeutende, für wissenschaftliche Arbeiten und Beobachtungen ausgebildete Kräfte; es besitzt in seinen ausgedehnten Triangulationen einen grossen Schatz von Materialien, die nur geordnet, mit den Sternwarten in sichere Verbindung gebracht und zu Resultaten verarbeitet zu werden brauchen; ...

Hauptziel des Projekts ist also das Erkennen von Krümmungsanomalien der Erdfigur in Mitteleuropa. Hierzu wird - wie auch bei heutigen Problemlösungen üblich - die Sammlung vorhandener Daten (nach entsprechender Überprüfung) und die Durchführung von Ergänzungsmessungen, die einheitliche Auswertung dieser Daten und ihre Analyse vorgesehen.

Baeyer wird bei seinem Ausscheiden, dem ein weitgehendes Zerwürfnis mit dem Generalstab vorausgegangen ist, in Würdigung seiner Verdienste unter "Charakterisierung" zum Generalleutnant dem Generalstabschef von Moltke zur Disposition (z.D.) gestellt.

Bereits am 20. Juni 1861 wird Baeyers Plan durch königliche Kabinettsorder genehmigt, und vom 24. bis 26. April 1862 finden in Berlin zwischen Vertretern Preußens, Österreichs und Sachsens vorläufige Beratungen über das Projekt einer Mitteleuropäischen Gradmessung statt. Ende 1862 kann Baeyer in seinem Generalbericht bereits 15 Staaten nennen, welche dem Unternehmen beigetreten sind: Frankreich, Dänemark, Sachsen-Gotha, Niederlande, Polen, Schweiz, Baden, Königreich Sachsen, Italien, Österreich, Schweden und Norwegen, Bayern, Mecklenburg, Hannover, Belgien. Dies ist ein großer Erfolg: eine internationale Wissenschaftsorganisation war innerhalb kürzester Zeit entstanden. Die Gradmessungsarbeiten im engeren Sinne werden bei der Aufzählung der notwendigen Arbeiten bereits um die Fragen des Referenzmodells (Bessel'sches Erdellipsoid), des Längenstandards (Vergleich der verschiedenen Maßeinheiten) und der Genauigkeit (Fehlergrenze für die Benutzung älterer Triangulationen) sowie um Schweremessungen (Pendellänge-Bestimmungen) erweitert.

1864 findet dann die erste Allgemeine Konferenz der Bevollmächtigten zur mitteleuropäischen Gradmessung in Berlin statt, 1866 wird das Zentralbüro mit Baeyer als Präsident eingerichtet, und 1867 wird die Organisation nach dem Beitritt von Portugal und Spanien in "Europäische Gradmessung" umbenannt.

Dem ursprünglichen Programm der "Mitteleuropäischen Gradmessung" entsprechend, nahmen insbesondere die Gradmessungs- und Triangulationsarbeiten in Europa einen großen Aufschwung. In Deutschland zählt zu den herausragenden Beispielen die neue Landesaufnahme des Königreichs Sachsen, in der das Netz 1. Ordnung von 1867 bis 1886 durch Nagel²⁴ erkundet, beobachtet und berechnet wird, wobei die Kriterien der Mitteleuropäischen Gradmessung beachtet werden. In Preußen folgen die Triangulationen ab 1870²⁵ den Empfehlungen der Europäischen Gradmessung. So betont der Chef des Bureaus der Landestriangulation von Morozowicz im Vorwort zu der Publikation "Die Königlich Preußische Landestriangulation. Hauptdreiecke. Erster Theil, Zweite vermehrte Auflage, Berlin 1870", daß die Wünsche der allgemeinen Konferenz der Europäischen Gradmessung vom Jahr 1867 für die Art der Veröffentlichung der Haupttriangulationen bestimmend gewesen seien.

²⁴ Christian August Nagel war Professor für Geodäsie an der kgl. polytechnischen Schule zu Dresden und einer der Vertreter Sachsens bei ersten Beratungen (1862) über die Mitteleuropäische Gradmessung. Zu seinen Schülern gehörte Helmert.

Das militärische Vermessungswesen in Preußen war 1865 neu organisiert worden. Aus der trigonometrischen Abteilung des Generalstabs wurde das Bureau der Landestriangulation gebildet, das 1874 in der Königlich-Preußischen Landesaufnahme aufging. Erster Chef der Landesaufnahme wurde 1875 General von Morozowicz.

(JORDAN-STEPPES, I. Band, S. 59, 1882). Mit Schreiber²⁶ begann dann vom "Schreiberschen Westen" ausgehend die vollständige Neutriangulation Preußens und einiger weiterer deutscher Staaten, ausgenommen blieben Bayern, Württemberg, Sachsen, Baden, Mecklenburg und Hohenzollern (MATTHIAS 1903). Dabei wurde die Erdmessungsaufgabe durch Anschlußmessungen an die Nachbarstaaten weiter verfolgt. Zu den früheren Anschlußmessungen an Verbindungen mit Österreich (1878), den Niederlanden (1885, 1890), Belgien (1894) und Frankreich (1899), Bayern und Sachsen verbanden ihre Netze mit der österreichisch-ungarischen Triangulation (WOLF 1976). Die Ergebnisse dieser Arbeiten werden wie die anderer Länder der "Europäischen Gradmessung" zur Verfügung gestellt, so daß dort um die Jahrhundertwende bereits eine recht befriedigende Überdeckung Europas mit trigonometrischen Netzen oder Ketten vorliegt. ²⁷

Nach dem Tode Baeyers (1885) übernimmt Helmert²⁸ die Leitung des Zentralbüros. 1886 wird die Erweiterung der "Europäischen Gradmessung" zur "Internationalen Erdmessung" beschlossen, die Organisation gestrafft und das wissenschaftliche Programm wesentlich erweitert (TORGE 1993a). In dem 1886 vorgelegten Arbeitsplan des Preußischen Geodätischen Institutes für die nächsten zehn Jahre finden wir die erweiterte Konzeption und die notwendige Beteiligung Preußens:

"Unter den umfangreichen Aufgaben, welche dem Geodätischen Institut gestellt sind, ist für die nächste Zeit die Ausführung des Preussischen Antheils der Hauptaufgabe der Europäischen Gradmessung: die Bestimmung der Figur der Erde in Europa in ihren Hauptformen, an die Spitze

Oscar Schreiber hatte 1866 die aufsehenerregende Arbeit über die "Theorie der Projektionsmethode der Hannoverschen Landesvermessung" veröffentlicht, nach seiner Übernahme in die preußische Armee wurde er 1867 zum Bureau der Landestriangulation kommandiert. Er leitete von 1875 bis 1888 die Trigonometrische Abteilung der Landesaufnahme und wurde als Gen.-Leutnant von 1888 bis 1893 ihr Chef. Schreiber hat in seiner Amtszeit die Meß- und Rechenverfahren der Landesvermessung auf wissenschaftlicher Grundlage vollständig erneuert und ab 1875 in der preußischen Landestriangulation eine beispielhafte Anwendung aufgezeigt (MIELERT 1981).

Einen detaillierten Überblick über den Fortschritt der Gradmessungsarbeiten geben die Protokolle der Verhandlungen der allgemeinen Conferenzen und der permanenten Commission, die Generalberichte sowie die Landesberichte.

Priedrich Robert Helmert etablierte vor allem mit seinem Standardwerk (1880/1884) "Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie" die Geodäsie als eigenständige wissenschaftliche Disziplin. Von 1870 bis 1886 in Aachen als Professor für Geodäsie tätig, wirkt er danach als Professor an der Universität Berlin. Gleichzeitig nimmt er bis zu seinem Tode 1917 die Leitung des Preußischen Geodätischen Instituts und des Zentralbüros der Internationalen Erdmessung wahr (WOLF 1993).

zu stellen... Bei dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntniss von der Figur der Erde besteht aber die Bestimmung derselben für Europa in Ermittlung von Lothabweichungen gegen ein passend gewähltes (etwa ein Bessel'sches) Referenzellipsoid in hinreichend vielen Punkten, um zunächst, wie bereits bemerkt, die etwa vorhandenen Anomalien grosser Ausdehnung bestimmen zu können..."

Die Arbeitsbereiche der Internationalen Erdmessung seien hier mit dem Bericht über die wissenschaftliche Tätigkeit des Zentralbüros im Jahre 1899 zitiert:

- Fortsetzung der Berechnungen für das europäische Lotabweichungssystem;
- 2. Ableitung der Bewegung der Erdachse im Erdkörper aus dem Ergebnis der freiwilligen Cooperation der Sternwarten;
- 3. Vorbereitung für den internationalen Polhöhendienst;
- 4. Absolute Pendelbestimmungen;
- Maßnahmen zur Verbindung von nationalen Hauptstationen der Schwerkraftmessung durch relative Pendelmessungen; Sammlung relativer Pendelmessungen."

Wir erkennen die Fortsetzung des Projektes "Europäische Gradmessung" in Form des europäischen Lotabweichungssystems, aber auch die globalen Zielsetzungen der Überwachung der Erdrotation und des Aufbaus eines Schwerereferenzsystems.

Wir erwähnen schließlich, daß Helmert im Band I (1880) seines Standardwerkes auch die nun klassische Definition des Begriffs Erdoberfläche mit der Unterscheidung zwischen dem Geoid (Schwerefeld) und der physischen Erdoberfläche (Topographie) gibt:

"Besonders hervorzuheben unter den Niveauflächen ist die Meeresfläche, welche man sich aber hierbei nur der Schwerkraft der Erde unterworfen und also ruhend denkt, so dass von der Bewegung durch Ebbe und Flut, durch Winde und andere, Meeresströmungen erzeugende Ursachen abgesehen wird. Diese idelle Meeresfläche würde den sichtbaren Teil einer Niveaufläche bilden. Man nennt sie die mathematische Erdoberfläche oder (nach Listing 1872) das Geoid, im Gegensatz zur reellen, der physischen Erdoberfläche."

Wir zeigen abschließend am Beispiel der Geoidbestimmung, der Mittelwasservergleiche und der Schwerebezugssysteme, wie die Europäische Gradmessung und die Internationale Erdmessung in diesen ersten von Baeyer und Helmert

beherrschten Perioden Problembereiche aufgriff, die auch heute noch in der Arbeit der Internationalen Assoziation für Geodäsie hohe Priorität besitzen.

Das von der Gradmessungsorganisation zunächst primär verfolgte Ziel der Lotabweichungsbestimmung (oder nach Baeyer der Krümmungsanomalien) in Europa entspricht der Geoidbestimmung durch Integration der Lotabweichungen über den Weg (Astronomisches Nivellement nach HELMERT 1884). Ab 1886 werden die beobachteten Lotabweichungen regelmäßig publiziert, die aus den astronomischen Stützpunkten gebildeten Rahmennetze werden unter Ersatz der Dreiecksketten durch lange geodätische Linien ausgeglichen. Eine flächenhafte Approximation des Lotabweichungsfeldes bzw. des Geoids für Europa wurde jedoch nicht durchgeführt; sie wäre wegen der großen Abstände der Lotabweichungsstationen auch nicht sinnvoll gewesen. Die lokale Geoidberechnung begann jedoch bereits (ab 1865) mit der Sammlung von Lotabweichungen im Harz, sie wurde nach grundlegenden theoretischen Arbeiten von Helmert schließlich mit der von Galle 1914 vorgelegten Geoidbestimmung abgeschlossen (vgl. TORGE 1993a). Die gravimetrische Geoidbestimmung nach Stokes konnte wegen der völlig unzureichenden Kenntnis des Schwerefeldes zunächst nicht in Angriff genommen werden. Besonders nach der Übernahme des Zentralbüros durch Helmert werden jedoch die Schweremessungen und die Sammlung von Schwerewerten intensiviert. Eine erste Nutzung dieser Daten finden wir mit den für ein Bezugsellipsoid geltenden Normalschwereformeln von Helmert 1884 (124 Schwerewerte) und 1901 (1400 Werte). 1912 liegen etwa 2500 Schwerewerte vor. Bemerkenswert ist, daß Helmert bereits 1884 den Einfluß der kontinentalen Topographie auf das Geoid abschätzt. Zu den resultierenden Geoidundulationen (≤ 400 m) bemerkt er aber gleichzeitig, daß bei einer plausiblen isostatischen Kompensation in der Realität nur eine Geoidvariation von ± 27 m auftreten dürfte. Später geht er von einer Schätzung der mittleren Größe (± 35 mgal) der Schwereanomalien aus und leitet daraus eine mittlere Geoidvariation von ± 50 m ab, Geoidundulationen von 100 m und etwas mehr werden nach seiner Meinung nur selten erreicht (HELMERT 1910). Entscheidende Fortschritte in der Geoidberechnung für Europa werden - im Rahmen der Internationalen Assoziation für Geodäsie - erst rund 50 Jahre später nach Vorliegen großer Datenmengen und mit leistungsfähigeren Rechentechniken erreicht, gleichzeitig war ein entsprechender Bedarf an dieser Schwerefelddarstellung entstanden (s. auch Kapitel 6).

Von Anfang an hat die "Mitteleuropäische Gradmessung" die Frage der Höhenlage des mittleren Meeresspiegels aufgegriffen. *Gauß* und *Bessel* hatten noch unterstellt, daß die mittlere Meeresoberfläche eine Gleichgewichtsfläche im Schwerefeld ist. Die "Mitteleuropäische Gradmessung" hat dann auf ihrer Konferenz in Berlin 1864 bereits die nivellitische Verbindung der Mittelwasser verschiedener Randmeere gefordert, um daraus einen Höhennullpunkt für

Europa abzuleiten. Hierbei wurde also weiterhin von der Annahme ausgegangen, daß der mittlere Meeresspiegel mit ein- und derselben Niveaufläche zusammenfällt. Von 1865 bis 1900 entfaltete sich dann auch eine lebhafte Aktivität beim Aufbau nationaler Nivellmentsnetze und bei der Schaffung übernationaler Verbindungen²⁹. Registrierpegel wurden europaweit eingerichtet (u.a. 1870 in Swinemünde, 1880 in Helgoland) und an das Nivellementsnetz angeschlossen (u.a. 1878/81 Helgoland durch trigonometrisches Nivellement); Mittelwasservergleiche und Analysen der Pegelregistrierungen folgten. Die Europäische Gradmessung (1878) stellte ebenso wie HELMERT (1884) fest, daß die physische Meeresoberfläche auch als Mittelwasser wegen der Gezeiten und der Wärmebewegung keine genaue Niveaufläche ist³⁰. Lallemand legt 1890 der Permanenten Kommission der Internationalen Erdmessung Ergebnisse für ganz Europa vor, welche nur Abweichungen < 0.2 m zwischen dem Nivellement und den Mittelwassern zeigen. Helmert (1890) folgert hieraus (unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Nivellementsfehler über große Distanzen einen Dezimeter nicht überschreiten dürften), daß der mittlere Meeresspiegel um Europa innerhalb von ein bis zwei Dezimetern in derselben Niveaufläche liegt. Auch sind auf Grundlage der bisherigen Registrierzeiten an den Pegeln keine säkularen Veränderungen des Meeresspiegels feststellbar. Diese Fragestellung ist in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts gerade auch in Europa wieder aufgegriffen worden und im Zeichen rezenter Klimaveränderungen aktueller als je.

Schließlich sei auf die Förderung von Schweremessungen und den hiermit verknüpften Aufbau von Schwerebezugssystemen durch die Internationale Erdmessung und ihre Vorläuferorganisationen hingewiesen. Wenn auch erste Schweremessungen bereits bei den frühen Gradmessungen des 18. Jahrhun-

Die preußische Landesaufnahme hatte 1867 das geometrische Nivellement zur Höhenbestimmung eingeführt, die trigonometrische Höhenmessung wurde bald völlig zurückgedrängt. Das Preußische Geodätische Institut führte unter Baeyer im Rahmen der Gradmessungsarbeiten ebenfalls Präzisionsnivellements durch (MELERT 1981).

Bei der ab 1875 betriebenen Einrichtung des Normal-Höhenpunktes für Preußen (später für das Deutsche Reich) wurden einige wesentliche Gesichtspunkte für die Festlegung von Höhensystemen bereits klar erkannt. Zunächst wurde festgestellt, daß "die Unveränderlichkeit desselben (des Mittelwassers des Meeres) an irgendeinem Küstenort praktisch niemals erwiesen, und theoretisch kaum denkbar, ... und nur unter der Voraussetzung bestimmbar ist, dass das anliegende feste Land keinen Hebungen oder Senkungen unterworfen sei ..." Dabei wird aufgrund der Nivellements der Landesaufnahme davon ausgegangen, daß "... die an unseren Ost- und Nordseeküsten beobachteten Mittelwasser ergeben, dass dieselben keineswegs in einer und derselben Niveaufläche liegen, sondern um mehr als einen halben Meter von einander abweichen (JORDAN 1880).

derts vorgenommen wurden³¹ so wird erst mit den transportablen Systemen, in der Form des Reversionspendels (Bohnenberger 1811, Kater 1818) und des Fadenpendels (Biot ab 1808, Bessel 1828) die Vermessung einer größeren Zahl von Punkten bis zur Jahrhundertmitte möglich. Die "Mitteleuropäische Gradmessung" nimmt die Intensitätsbestimmungen der Schwere sofort in ihr Programm auf, und mit der Übernahme des Zentralbüros durch Helmert werden die Schweremessungen und die Datensammlung intensiviert. Bereits 1864 wird die Firma Repsold mit der Konstruktion eines transportablen Reversionspendels beauftragt, gründliche instrumentelle und methodische Studien folgen besonders im Preußischen Geodätischen Institut. 1887 wird mit dem Relativpendelapparat (v. Sterneck) ein leistungsfähiges Instrument zur Messung von Schweredifferenzen bereitgestellt. Die Internationale Erdmessung engagiert sich bei der Organisation von Meßkampagnen und der Einrichtung von nationalen Schwerehauptstationen, über die gesammelten Schwerewerte wird regelmäßig berichtet. Erste Schweremessungen auf dem Meer (Hecker 1901/1904) geben Hinweise auf die Isostasie.

Die Kombination der aufwendigen und weniger genauen Absolutschweremessungen mit den genaueren Relativpendelmessungen führt zu der Strategie, einen globalen Schwerestandard durch Anschluß der Relativmessungen an nur eine möglichst genaue Absolutstation zu definieren. So führt Helmert (wenn auch mit Vorsicht wegen eines bereits vermuteten Fehlers) 1900 mit dem Schwerewert von Wien das "Wiener Schweresystem" ein. 1894 beginnen aber bereits auf seine Anregung die Vorbereitungen zu einer neuen Absolutschwerebestimmung im Geodätischen Institut Potsdam. Die gründlichen Untersuchungen und zahlreiche Meßreihen (Kühnen und Furtwängler) schließen 1906 mit der Publikation des Schwerewertes für den Pendelpfeiler im Institut ab. Borrass bezieht 1909 sämtliche verfügbaren Schweremessungen auf diesen Wert und führt so, nach Zustimmung durch die Internationale Erdmessung, das "Potsdamer Schweresystem" ein, das bis 1971 internationale Referenz blieb.

6. Schluß

Wir haben gezeigt, wie die Geodäsie sich als eigenständige Wissenschaft aus der Fragestellung "Bestimmung der Figur der Erde" vom 17. Jahrhundert an entwickelte. Diese Frage schließt die Definition des Begriffs "Figur der Erde", die Entwicklung entsprechender mathematischer Modelle und die Überprüfung bzw. Realisierung dieser Modelle mit Hilfe von Messungen ein. Ab Beginn

³¹ Zur Geschichte der Schweremessungen finden sich zahlreiche Anmerkungen in TORGE (1989).

des Jahrhunderts wirken hieran auch deutsche Geodäten³² im Rahmen europaweiter Arbeiten mit, sie übernehmen für rund ein Jahrhundert eine führende Rolle. Die Geodäsie wird dabei zu der im Grundsatz noch heute gültigen Form entwickelt, darüber hinaus widmen gerade die deutschen Beteiligten der übernationalen Komponente besondere Aufmerksamkeit, zunächst im europäischen und später auch im globalen Rahmen. Besonderes Gewicht kommt in diesem Zusammenhang den Namen Gauß, Bessel, Baeyer und Helmert zu.

Betrachtet man den Lebenslauf und besonders die Periode geodätischer Aktivität der in Deutschland und den Nachbarländern in diesem Zeitraum handelnen Personen, so lassen sich zwei Phasen unterscheiden. Die erste Phase konzentriert sich auf die erste Hälfte des 19. Jahrhunderts, sie ist insbesondere mit den Namen Bohnenberger (1765-1831), von Müffling (1775-1851), Soldner (1776-1833), Gauß (1777-1855), Schumacher (1780-1850), Bessel (1784-1846), Gerling (1788-1864), Struve (1793-1864) und Hansen (1795-1874) verknüpft. Oft enge persönliche Kontakte und ein häufig intensiver Briefwechsel³³ kennzeichnen diese und zum Teil auch die folgende Phase. Die Verbindung zu dieser zweiten Phase wird besonders durch Baeyer (1794-1885) hergestellt, geprägt wird diese zweite Hälfte des 19. und des ersten Jahrzehnts des 20. Jahrhunderts deutscherseits außer durch Baeyer besonders durch Nagel (1821-1903), Schreiber (1829-1905), Jordan (1842-1899) und Helmert (1843-1917).

In dieser zweiten, durch organisierte internationale Zusammenarbeit gekennzeichneten Phase werden - wie oben beispielhaft gezeigt - kontinentale und globale Fragestellungen schärfer definiert und ihrer - approximativen - Lösung zugeführt. Viele der damals aufgegriffenen Problemkreise sind in Wissenschaft und Praxis weiterhin aktuell, wobei die Resultate der geodätischen Arbeiten heute immer stärker interdisziplinär genutzt werden. Herausragende Beispiele sind die Beobachtung und Analyse der Variationen des Erdrotationsvektors und die Realisierung dreidimensionaler globaler und regionaler Referenzsysteme mit Hilfe von Raumtechniken, siehe z.B. TORGE (1993a). Exemplarisch weisen wir anschließend noch auf die Fortschritte und den Stand in den oben näher erläuterten Bereichen Geoidbestimmung, Mittelwasservergleiche und Schwerezugssysteme hin, wobei wir uns auf Europa konzentrieren.

Wir verwenden die Bezeichnung "Geodät" hier für Wissenschaftler und Praktiker, die auf dem Gebiet der Geodäsie wesentliche Arbeiten geleistet haben, auch wenn ihr Werdegang (z.B. juristische Ausbildung) oder der Schwerpunkt ihrer Tätigkeit (z.B. Mathematik, Astronomie, Militär) sich auf andere Bereiche erstreckte.

³³ Zu nennen ist insbesondere der Briefwechsel von Gauß mit Bessel, Gerling und Schumacher sowie die Korrespondenz zwischen Baeyer und Bessel.

Die großräumige Geoidbestimmung wurde in den 1950er Jahren auch in Europa aktuell, Geoidhöhen wurden nun für die Reduktion elektronisch gemessener Schrägstrecken und zur Berechnung des europäischen Dreiecksnetzes benötigt. Ab 1948 befaßte sich eine IAG-Sektion mit der Berechnung eines Europa-Geoids aus Lotabweichungen, ab 1954 lag in laufend verbesserten Versionen das "Bomford"-Geoid vor (letzte Fassung 1978 von Levallois und Monge), es wies eine relative "m"-Genauigkeit auf³⁴. Von den 1970er Jahren an lagen auch für große Teile Europas einigermaßen flächendeckende Schweredaten vor, so daß in Verbindung mit globalen Kugelfunktionsmodellen des Schwerefeldes das (modifizierte) Stokes-Integral zur Geoidberechnung genutzt werden konnte. So entstand etwa am Institut für Erdmessung (IfE) der Universität Hannover das European Gravimetric Geoid EGG1 mit einer Genauigkeit von ± 0.3...1 m/100...1000 km (TORGE et al. 1983). Nach Aufbau einer umfangreichen Datenbank mit Punktschwerewerten und digitalen Topographiemodellen konnte das IfE als Rechenstelle der IAG Subkommission für das europäische Geoid dann 1995 eine hochauflösende (Quasi) Geoidberechnung EGG95 (1.0' x 1.5'-Gitter) für Europa und seine Randmeere vorlegen (DENKER et al. 1995). Die Genauigkeit dieser Lösung wird mit ± 1...5...20 cm/10... einige 100...einige 1000 km abgeschätzt. Geoidmodellierungen dieser Auflösung und Genauigkeit werden inzwischen dringend benötigt, um die mit dem Global Positioning System (GPS) bestimmten ellipsoidischen Höhen in Schwerefeldhöhen (z.B. Normalhöhen) zu transformieren. Im Meeresbereich liefert der Vergleich des Geoids mit der aus der Satellitenaltimetrie bestimmten Meeresoberfläche die "Meeresflächentopographie" als geometrische Repräsentation der Meeresströmungen.

Dies führt uns zu der ebenfalls bereits früh aufgeworfenen Frage der Höhenfestlegung des mittleren Meeresspiegels. Die klassische Methode hierfür war der Vergleich der an Meerespegeln ermittelten Mittelwasserstände mit dem Nivellement. Die IAG griff diese Untersuchungen für Europa 1954 wieder auf³⁵. Ein Vergleich des (West)europäischen Nivellementsnetzes mit den Mittelwasserständen der europäischen Randmeere (Epoche 1950) wurde allerdings nur einmal (1960) durchgeführt, dabei zeigten sich teilweise syste-

³⁴ Vorausgegangen war eine astrogeodätische Geoidbestimmung für Zentraleuropa als Teil der Berechnung des Zentraleuropäischen Dreiecksnetzes durch Wolf (1949). Zur Entwicklung der Geoidbestimmung in Europa siehe TORGE u. DENKER (1991) und TORGE (1992).

Eine erste Ausgleichung des "Einheitlichen Europäischen Nivellementsnetzes" wurde 1960 (UELN-55), eine zweite 1986 (UELN-73) vorgelegt (EHRNSPERGER u. KOK 1987); eine dritte Berechnung (UELN-95) mit Ausdehnung auf Osteuropa befindet sich in Vorbereitung.

matische Abweichungen von \pm einigen Dezimetern (GRONWALD 1963)³6. Mit Hilfe der GPS-Höhenbestimmung und einer "Geoidreduktion" dieser ellipsoidischen Höhen kann das Nivellement heute durch ein wirtschaftlicheres Verfahren ersetzt werden, erste Experimente dieser Art sind inzwischen für Teilgebiete Europas durchgeführt worden (z.B. LIEBSCH et al. 1995)³7. Schließlich liefert - wie oben bereits erwähnt - die Satellitenaltimetrie in Verbindung mit einem hochauflösenden Geoidmodell eine flächenhafte Bestimmung der Meeresflächentopographie³8. Wie bei der regionalen Geoidberechnung wird auch bei der Bestimmung der Meeresoberfläche eine relative "cm"-Genauigkeit gefordert, was einer Genauigkeitssteigerung um mindestens eine Größenordnung gegenüber den frühen Arbeiten der Internationalen Erdmessung entspricht.

Betrachten wir schließlich den Komplex "Schwerebezugssystem". Das von der Internationalen Erdmessung eingerichtete Potsdamer Schweresystem wurde trotz des bald erkannten Fehlers von 140 $\mu ms^{-2}~(10~\mu ms^{-2}=1~mgal)$ erst 1971 von der IAG durch das IGSN71 (International Gravity Standardization Net 1971, MORELLI et al. 1974) ersetzt³9. Mit mehr als 1800 Schwerepunkten (mittlere Unsicherheit < 1 μms^{-2}) repräsentiert dieses Netz einen globalen Schwerestandard, an den sich zahlreiche Landesaufnahmen angeschlossen haben. Ein weitgehender Umbruch in der Festlegung des Schwerestandards begann dann in den 1970er Jahren mit operationellen transportablen Absolutgravimetern (Genauigkeit ausgeglichener Absolutschwerewerte etwa $\pm~0.1~\mu ms^{-2}$, vgl. TORGE 1987). Da diese Meßsysteme die zur Schweremessung benötigten Längen- und Zeitstandards mit sich führen, sind die Resultate nicht mehr von einem "Festpunktfeld-Standard" abhängig⁴0. Nationale

³⁶ Für Teilgebiete liegen auch neuere Vergleiche vor, so für die Ostsee mit einem Mittelwasseranstieg (+ 0.3 m) vom Kattegat bis zum nördlichen Bottnischen Meerbusen (EKMAN u. MÄKINEN 1995).

Eine spezielle Anwendung dieser Methode ist der Anschluß des vor rund 130 Jahren eingerichteten Helgoländer Pegels an das deutsche Höhensystem, wobei "cm"-Genaunigkeit erreicht wurde (GOLDAN 1996).

³⁸ KNUDSEN (1993) beschreibt ausführlich die Altimetrie-Methode und ihre Nutzung und gibt Beispiele für die Anwendung in der Norwegischen See. In die Altimetrielösungen können die Pegelvergleiche als Randbedingungen eingeführt werden, Beispiele geben FENOGLIO u. GROTEN (1995).

³⁹ Am Aufbau des IGSN71 haben in Europa und Afrika auch deutsche Arbeitsgruppen maßgeblich mitgewirkt (z.B. TORGE 1966).

⁴⁰ In Deutschland stehen solche transportablen Absolutgravimeter seit 1986 (IfE Hannover) und 1993 (IfAG Frankfurt) zur Verfügung. Die hiermit aus einer Vielzahl von einzelnen

Schweregrundnetze werden seitdem aus einer Kombination von Absolut- und Relativschweremessungen aufgebaut oder ausschließlich mit Absolutgravimetern vermessen⁴¹. Das IGSN71 wird auf diese Art allmählich erneuert und in der Genauigkeit um mindestens eine Größenordnung verbessert. Um die Homogenität dieser nationalen Grundnetze im europäischen Rahmen sicherzustellen, wurde auf Initiative der IAG auch ein einheitliches europäisches Schweregrundnetz entwickelt, das laufend verbessert wird (BOEDECKER 1993). Im Bereich der Gravimetrie und der gravimetrischen Festpunktfelder ist so seit der Jahrhundertwende eine Genauigkeitssteigerung um mehr als drei Größenordnungen zu verzeichnen, was die Nutzung dieser Oparate auch für geodynamische Untersuchungen erlaubt (z.B. TORGE 1993b).

Literaturverzeichnis

- Albrecht, O.: Colonel Ingénieur Géographe Tranchot und die linksrheinische Kartenaufnahme 1801-1803. General Freiherr von Müffling und die Kartenaufnahme der Rheinlande 1814-1828. Schriftenreihe Mil. Geogr. Dienst der Bundeswehr, 27-45/47-65, Bonn-Bad Godesberg 1980.
- APEL, H.: Christian Ludwig Gerling, ein Wegbereiter der deutschen Landesvermessung. DVW Hessen Mitt. 27, 5-12, 1976.
- BAUER, H.: Die Kurhannoversche Landesaufnahme des 18. Jahrhunderts. Nachr. d. Nieders. Verm. u. Kat. Verw. 43, 123-142, 1993.
- BIALAS, V.: Erdgestalt, Kosmologie und Weltanschauung, K. Wittwer, Stuttgart 1982.
- BOEDECKER, G.: Ein einheitliches Schweregrundnetz für Europa: Unifed European Gravity Network (UEGN). Z.f. Verm. wesen 118, 422-428, 1993.

Fallexperimenten erhaltenen Schwerewerte weisen i.a. eine Präzision von wenigen \pm 0.01 μms^2 auf, die Genauigkeit kann mit \pm 0.05 μms^2 und besser abgeschätzt werden.

⁴¹ In Deutschland (alte Bundesländer) wurde mit dem Deutschen Schweregrundnetz 1976 erstmals ein solcher Schwerestandard als Kombinationsnetz geschaffen (TORGE 1980). Eine Neuvermessung und die Erweiterung in die neuen Bundesländer wurde 1994/95 vom IfAG Frankfurt vorgenommen (TORGE et al. 1995).

- Buschmann, E. (Herausg.): Aus Leben und Werk von Johann Jacob Baeyer. Institut für Angewandte Geodäsie, Frankfurt a.M. 1994.
- Denker, H., D. Behrend, W. Torge: The European Gravimetric Geoid EGG 95. Bur. Grav. Int. Bull. d. Inf. No. 77 / IGeS Bull. No. 4, Special Issue: New Geoids in the World. Milano/Toulouse 1995.
- DEUMLICH, F.: Wilhelm J. Struve (1793-1864), Vermessungstechnik 12, 431, 1964.
- EGGERT, O.: Bessel als Geodät. Z.f. Verm. wesen, 40, 301-310, 1911.
- EGGERT, O.: Die dänische Landesvermessung 1816-1916. Z.f. Verm.wesen 45, 299-306, 1916.
- EHRNSPERGER, W., J.J. Kok: Status and results of the 1986 adjustment of the Unifed European Levelling Network UELN-73. In: H. Pelzer u. W. Niemeier (eds.), Determination of heights and height changes, 7-45, Dümmler, Bonn 1987.
- EKMAN, M., J. MÄKINEN: Mean Sea Surface Topography in a Unified Height System for the Baltic Sea Area. Rep. Finn. Geod. Inst. 95: 4, 53-62, 1995.
- Fenoglio, L., E. Groten: Mean Sea Level determination in small ocean basins from altimetry and tide gauge data. Man. geodaet. 20, 394-407, 1995.
- GAEDE: Beiträge zur Kenntnis von Gauss' praktisch-geodätischen Arbeiten. Z.f. Verm.wesen 14, 113-245, 1885.
- Galle, A.: Über die geodätischen Arbeiten von Gauss. (C.F. Gauss Werke, Bd. XI, 2 Abt.) Berlin 1924.
- GERARDY, Th.: Die Triangulation des Königreichs Hannover durch C.F. Gauß (1821-1844). In: C.F. Gauß und die Landesvermessung in Niedersachsen, 83-114. Hannover 1955.
- GOLDAN, H.J.: Beiträge zur GPS gestützten Höhenbestimmung im Küstenbereich. Wiss. Arb. Fachr. Verm. wesen Univ. Hannover, Nr. 215, 1996.
- Gronwald, W.: Das "Einheitliche Europäische Nivellementsnetz" und der "Mittlere Meerespiegel". Z.f. Verm. wesen 88, 141-153, 1963.

- GROSSMANN, W.: Niedersächsische Vermessungsgeschichte im 18. und 19. Jahrhundert. In: C.F. Gauß und die Landesvermessung in Niedersachsen, 17-59, Hannover 1955.
- HAASBROEK, N.D.: Investigation of the accuracy of Krayenhoff's triangulation (1802-1811) im Belgium, The Netherlands, a part of north western Germany. Publ. Netherl. Geod. Comm., Delft 1972.
- HELMERT, F.R.: Die mathematischen und physikalischen Theorien der höheren Geodäsie. Band II, B.G. Teubner, Leipzig 1884.
- HELMERT, F.R.: Die Schwerkraft und die Massenverteilung der Erde. Encycl. der math. Wissensch., Band VI, 1 B, Heft 2, 85-177, B.G. Teubner, Leipzig 1910.
- JORDAN, W.: Der Normal-Höhenpunkt für das Königreich Preußen, Z.f. Verm.wesen 9, 1-16, 1880.
- JORDAN, W., K. STEPPES: Das deutsche Vermessungswesen. I. Band: Höhere Geodäsie und Topographie des Deutschen Reiches, herausg. von W. Jordan. K. Wittwer, Stuttgart 1882.
- KNUDSEN, P.: Altimetry for Geodesy and Oceanography. In: J. Kakkuri (ed.), Geodesy and Geophysics, Publ. Finn. Geod. Inst. No. 115, Helsinki 1993.
- Lehmann, G.: Gauß' theoretische geodätische Arbeiten. In: C.F. Gauß und die Landesvermessung in Niedersachsen, 60-82, Hannover 1955.
- LEVALLOIS, J.J.: Mesurer la Terre 300 ans de Geodesie Française. Presses de l'Ecole Nationale de Ponts et Chaussées, Paris 1988.
- LIEBSCH, G., R. DIETRICH, H. DENKER, W. TORGE: Mean Sea Surface and Geoid in the Baltic Sea. Pres. Paper IUGG IAG Gen. Ass. Boulder 1995 (Abstracts B 33).
- LIPS, K.: Die mitteleuropäischen Dreiecksmessungen vor dem Jahre 1861. Mitt. Reichsamt für Landesaufnahme, 246-275/1936, 229-261, 304-326/1937.
- Matthias: Die Hauptdreiecke der Königlich Preußischen Landestriangulation. Z.f. Verm.wesen 32, 2-17, 33-52, 1903.

- MIELERT, H.: General Dr. h.c. Oskar Schreiber Seine Bedeutung für die Meßund Rechenverfahren der Landesvermessung. Schriftenreihe Mil. Geogr. Dienst der Bundeswehr, Bonn-Bad Godesberg 1981.
- MORELLI, C., GANTAR, C. et al.: The International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71). I.A.G. Publ. Spec. No. 4, Paris 1974.
- REINHERTZ, C.: Christian Ludwig Gerling's Geodätische Thätigkeit. Z.f. Verm.wesen 30, 1-56, 1901.
- SCHMIDT, R.: Die Triangulationen in Nordrhein-Westfalen. Diss. Univ. Bonn 1960.
- Schmidt, R.: Die Kartenaufnahme der Rheinlande durch Tranchot und v. Müffling, 1801-1828, Teil 1, Geschichte des Kartenwerkes und vermessungstechnische Arbeiten. Köln-Bonn 1973.
- Schroeder-Hohenwarth, J.: Die preußische Landesaufnahme von 1816-1875.
 Nachr. a.d. Karten- und Vermessungswesen, Reihe I, Nr. 5. Frankfurt a.M. 1958.
- SEEBER, G.: Zum 200. Geburtstag von Friedrich Wilhelm Bessel. Z.f. Verm.wesen 109, 576-585, 1984.
- SOLDNER, J.: Theorie der Landesvermessung (1810). Herausg. von J. Frischauf, W. Engelmann, Leipzig 1911.
- STRASSER, G.: Ellipsoidische Parameter der Erdfigur (1800-1950). Deutsche Geod. Komm., Reihe A, Nr. 19, München 1957.
- TÖPFER, F.: 200 Jahre topographische Landesaufnahme in Sachsen. Vermessungstechnik 29, 122-125, 1981.
- TORGE, W.: Schweremessungen mit Askania-Gravimetern GS12 in Europa und Afrika. Z.f. Verm. wesen 91, 359-370, 1966.
- TORGE, W.: Das Schweregrundnetz 1976 der Bundesrepublik Deutschland (DSGN76). Z.f.Verm.wesen 105, 454-457, 1980.
- Torge, W.: Absolute Schweremessung mit transportablen Gravimetern Ein Umbruch in der Gravimetrie. Z.f. Verm. wesen 112, 224-234, 1987.
- TORGE, W.: Gravimetry. W. de Gruyter, Berlin-New York 1989.

- TORGE, W.: Geodesy 2nd ed., W. de Gruyter, Berlin-New York 1991.
- Torge, W.: The Geoid in Europa: Requirements and Modeling Strategies. Acta Geod. Geoph. Mont. Hung. 27, 153-166, 1992.
- Torge, W.: Von der mitteleuropäischen Gradmessung zur Internationalen Assoziation für Geodäsie. Z.f. Verm.wesen 118, 595-605, 1993a.
- Torge, W.: Gravimetry and Tectonics. In: J. Kakkuri (ed.), Geodesy and Geophysics, 131-172. Publ. Finn. Geod. Inst. No. 115, Helsinki 1993b.
- Torge, W.: Die Geodäsie im Übergang zur international organisierten Wissenschaft: Zum 200. Geburtstag von Johann Jacob Baeyer. Z.f. Verm.wesen 119, 513-522, 1994.
- Torge, W., H. Denker: Zur Geoidmodellierung in Europa. Z.f. Verm. wesen 116, 220-230, 1991.
- Torge, W., G. Weber, H.-G. Wenzel: Ein hochauflösendes Geoid für Europa und angrenzende Meeresbereiche. Z.f.Verm.wesen 108, 321-331, 1983.
- TORGE, W., E. REINHARDT, B. RICHTER, H. WILMES, A. FRANKE: The New German Abstracts Gravity Base Net. Pres. Paper IUGG-IAG Gen. Ass. Boulder 1995 (Absoluts B 30).
- Truck, S.: Gradmessungsarbeiten in Rußland. Z.f. Verm.wesen 32, 193-204, 1903.
- Wolf, H.: Das Europäische Dreiecksnetz-Ursprung, Entwicklung und künftige Möglichkeiten. In: G. Krauß (Heraus.), Geodätische Woche Köln 1975, 40-50, K. Wittwer, Stuttgart 1976.
- Wolf, H.: Friedrich Robert Helmert sein Leben und Wirken. Z.f. Verm.wesen 118, 582-590, 1993.
- ZIEGLER, Th.: Der König ließ messen sein Land. Deutscher Verein für Vermessungswesen, Landesverein Bayern, München 1993.
- ZIMMERMANN, B.: Über die Geschichte der Landesaufnahme in Mecklenburg. Vermessungstechnik 34, 92-95, 1986.
- ZIMMERMANN, B.: Peter Andreas Hansen und die thüringische Landesvermessung. Der Vermessungsingenieur, 247-251, 1995.

Europäische Koordinaten - gestern und heute

Hermann Seeger, Frankfurt a.M.

Aktuelle Anforderungen an ein geodätisches Referenzsystem

Erstmalig in der Geschichte der Geodäsie müssen wir uns heute mir der Tatsache auseinandersetzen, daß in den verschiedensten Anwendungsbereichen Positionsbe-stimmungen mit Hilfe von Navigationssatelliten zunehmend Eingang in die Vermessungspraxis finden. Beispielhaft seien hierzu aufgezählt:

- Navigation im Luftverkehr, wozu die Einrichtung von Referenzstationen im Flughafenbereich und die Positionierung zahlreicher "Navigationshilfen" gehört (hierbei werden Genauigkeiten bis herab zu \pm 0,3 m in Höhe verlangt);
- Kfz-Navigation mit der Genauigkeit von \pm 2-3 m (Einrichtung und Betrieb von permanent arbeitenden Referenzstationen);
- Navigation auf See (wie bei Kfz-Navigation);
- Festpunktbestimmung (erreichbar ist derzeit global eine absolute Genauigkeit von ca. 20 cm und bezogen auf benachbarte Referenzstationen bzw. andere Festpunkte von ca. 1 cm) wobei die Abstände zwischen Referenzstation und Neupunkt offenbar 500 bis 1.000 Km erreichen dürfen, sofern man die Beobachtungsdauer optimal anpaßt;
- Positionsbestimmung im Bereich des Liegenschaftskatasters (heute Bestimmung von Aufnahmepunkten, künftig vielleicht auch von Grenzpunkten, wobei bei kleineren Abständen der Permanentstationen Genauigkeiten im Bereich von unter 1 cm realistisch sind);
- Positionsbestimmung hoher Genauigkeit bei Spezialaufgaben der Ingenieurvermessung.

Insbesondere die Anforderungen aus den vielfältigen Bereichen der Navigation aber auch jene aus dem weiten Feld der geodätischen Positionsbestimmungen erfordern heute, daß man für all diese Operationen kontinentweit ein einheitliches geodätisches Referenzsystem nutzt, welches innerhalb der Genauigkeitsgrenzen der Standard-Navigation (z.B. der Kfz-Navigation) mit dem WGS-84 übereinstimmt, das allen Operationen der GPS-Satelliten zu Grunde liegt. Da das WGS-84 per Definition nur eine Genauigkeit von ca. 1-2 m aufweist (heute offenbar schon 0,75 m - 1 m), ist es für weltweite geodä-

tische Arbeiten nicht optimal. Hierfür bietet sich besser das International Terrestrial Reference Frame (ITRF) an, in das neben zahlreichen GPS-Beobachtungen auch alle global anfallenden Laserentfernungsmessungen nach Satelliten (SLR) und Very-Long-Base-Line Beobachtungen (VLBI) eingehen. Für die alljährlich neue abgeleiteten ITRF-Lösungen ergeben sich Genauigkeiten im Bereich von 1-3 cm, die allen Ansprüchen genügen dürften.

Zur Situation der nationalen Referenzsysteme in Europa

Im gesamten ehemaligen Westeuropa benutzt man auch heute noch eine ganze Reihe (wenigstens 23) klassischer geodätischer Bezugssysteme, die größtenteils bereits im vergangenen Jahrhundert definiert und realisiert worden sind.

In Osteuropa hatte man nach 1945 als große gemeinsame Kraftaktion unter Leitung der UdSSR ein neues einheitliches (und offenbar recht genaues) Referenzsystem erarbeitet, das Grundlage aller geodätischer und kartographischen Aktivitäten wurde. Leider - und aus heutiger Sicht völlig unverständlich - hat man unmittelbar nach 1990 in vielen osteuropäischen Staaten dieses hochgenaue Referenzsystem (42/83) wieder aufgegeben und ist zu den vor 1945 gültigen Grundlagen zurückgekehrt, die in weiten Gebieten sogar österreichischen Ursprunges waren.

Abb. 1 umfaßt eine vereinfachte Darstellung der heute von den Nationalstaaten in Europa genutzten Bezugssysteme, wobei immer nur das jeweils "offizielle" System und nicht die vielfältigen älteren Koordinatensysteme erfaßt sind, die es wie in Deutschland auch in anderen Staaten immer noch gibt wobei manche Staaten - wie z.B. Spanien - für abgelegene Gebiete (Inseln) besondere Bezugssysteme eingeführt haben.

Deutschland ist im Grunde ein kleines Europa - nur daß es bei uns offenbar immer noch buntscheckiger wird. Deutschland ist nicht auf dem Wege nach vorn - nein, geodätisch gesehen zerfällt es mehr und mehr.

Während alle anderen europäischen Nationalstaaten ein einheitliches nationales Bezugssystem nutzen - so wie dies 1945 auch für das Deutsche Reich realisiert war - zerfällt Deutschland heute in wenigstens 6 (oder sogar 7) Teilbereiche, wobei z. T. völlig verschiedene Bezugssysteme, teilweise aber auch nur unterschiedliche Netzausbreitungen eingeführt wurden (Bessel-Ellipsoid, Zentralpunkt Rauenberg, aber teilweise länderspezifische Netzausbreitungen des DHDN mit unterschiedlichen Maßstabsfaktoren). Nach außen hin meint man vertreten zu dürfen, es handele sich in diesen Fällen immer noch um dasselbe Bezugssystem (Bessel-Ellipsoid, Zentralpunkt Rauenberg). Daß eine länderspezifische Neuausgleichung mit einem unterschiedlichen Maßstabfaktor eben doch die Einheitlichkeit opfert und an den Ländergren-

zen zu Koordinatenfklaffungen von einigen dm bis hin zu 1 - 2 m führt, will niemand gerne hören (so geschehen in Niedersachsen - wo man die größten Klaffungen in die Elbe gedrückt hat - und in Hessen). Die mittelalterlichen innerdeutschen Zollgrenzen waren im Grunde so etwas Ähnliches. Natürlich hatten beide Vermessungs- und Katasterverwaltungen gute Gründe: Sie wollten ein spannungsfreies Festpunktfeld als Grundlage für ein Koordinatenkataster realisieren und fanden keine Resonanz bzw. keine zeitlichen Perspektiven im übrigen Deutschland.

Welche unterschiedlichen Bezugssysteme (einschließlich verschiedener Netzausbreitungen) werden heute in Deutschland benutzt (Abb. 2):

- a) das DHDN abgeleitet aus dem westdeutschen Teil des RDN;
- b) die Niedersächsische Netzausbreitung (LS 100);
- die Hessische Netzausbreitung;
- d) Berlin: 18. Soldnersystem Müggelberg und andere Systeme;
- e) Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt:
 für Katastervermessungen wird offenbar noch das System 42/83 der
 ehemaligen DDR benutzt; für kartographische Arbeiten das System
 RD-83 (vom IfAG über 106 identische Punkte durchgeführte Transformation der 42/83-Koordinaten in das RDN); Brandenburg hat
 sich soeben als erstes Bundesland entschlossen, das ETRS-89 wirklich einzuführen:
- f) Thüringen benutzt offenbar eine halboffiziell vom IfAG in Leipzig durchgeführte Versuchstransformation, wobei entlang der ehemaligen Zonengrenze 13 identische Punkte benutzt wurden (PD 83);
- g) Sachsen hat die unter e) beschriebene Variante als sächsisches Bezugssystem (auch für das Liegenschaftskataster) eingeführt.

Die vor dem und im 2. Weltkrieg gelungenen Bemühungen zur Schaffung eines einheitlichen deutschen Bezugssystems sind also allmählich wieder zerfallen. Deutschland ist heute wie Europa ein bunter Flickenteppich; Katasterkarten kann man in den Landesgrenzen nicht unmittelbar miteinander verbinden.

Damit sind wir in keiner Weise auf die Anforderungen der Großabnehmer (z.B. der Stromerzeuger) vorbereitet. Wir haben im Grunde versagt.

Anfang 1995 wurde ein problematischer Ausweg diskutiert (abwarten bis die übrigen europäischen Staaten verbindlich das ETRS einführen). Das Problem würde dadurch ins Unendliche verlagert. Für die Bundesländer, die seit 1990 das System 42/83 vorläufig weiterbenutzen, war dies eine herbe Enttäuschung.

tische Arbeiten nicht optimal. Hierfür bietet sich besser das International Terrestrial Reference Frame (ITRF) an, in das neben zahlreichen GPS-Beobachtungen auch alle global anfallenden Laserentfernungsmessungen nach Satelliten (SLR) und Very-Long-Base-Line Beobachtungen (VLBI) eingehen. Für die alljährlich neue abgeleiteten ITRF-Lösungen ergeben sich Genauigkeiten im Bereich von 1-3 cm, die allen Ansprüchen genügen dürften.

Zur Situation der nationalen Referenzsysteme in Europa

Im gesamten ehemaligen Westeuropa benutzt man auch heute noch eine ganze Reihe (wenigstens 23) klassischer geodätischer Bezugssysteme, die größtenteils bereits im vergangenen Jahrhundert definiert und realisiert worden sind.

In Osteuropa hatte man nach 1945 als große gemeinsame Kraftaktion unter Leitung der UdSSR ein neues einheitliches (und offenbar recht genaues) Referenzsystem erarbeitet, das Grundlage aller geodätischer und kartographischen Aktivitäten wurde. Leider - und aus heutiger Sicht völlig unverständlich - hat man unmittelbar nach 1990 in vielen osteuropäischen Staaten dieses hochgenaue Referenzsystem (42/83) wieder aufgegeben und ist zu den vor 1945 gültigen Grundlagen zurückgekehrt, die in weiten Gebieten sogar österreichischen Ursprunges waren.

Abb. 1 umfaßt eine vereinfachte Darstellung der heute von den Nationalstaaten in Europa genutzten Bezugssysteme, wobei immer nur das jeweils "offizielle" System und nicht die vielfältigen älteren Koordinatensysteme erfaßt sind, die es wie in Deutschland auch in anderen Staaten immer noch gibt wobei manche Staaten - wie z.B. Spanien - für abgelegene Gebiete (Inseln) besondere Bezugssysteme eingeführt haben.

Deutschland ist im Grunde ein kleines Europa - nur daß es bei uns offenbar immer noch buntscheckiger wird. Deutschland ist nicht auf dem Wege nach vorn - nein, geodätisch gesehen zerfällt es mehr und mehr.

Während alle anderen europäischen Nationalstaaten ein einheitliches nationales Bezugssystem nutzen - so wie dies 1945 auch für das Deutsche Reich realisiert war - zerfällt Deutschland heute in wenigstens 6 (oder sogar 7) Teilbereiche, wobei z. T. völlig verschiedene Bezugssysteme, teilweise aber auch nur unterschiedliche Netzausbreitungen eingeführt wurden (Bessel-Ellipsoid, Zentralpunkt Rauenberg, aber teilweise länderspezifische Netzausbreitungen des DHDN mit unterschiedlichen Maßstabsfaktoren). Nach außen hin meint man vertreten zu dürfen, es handele sich in diesen Fällen immer noch um dasselbe Bezugssystem (Bessel-Ellipsoid, Zentralpunkt Rauenberg). Daß eine länderspezifische Neuausgleichung mit einem unterschiedlichen Maßstabfaktor eben doch die Einheitlichkeit opfert und an den Ländergren-

zen zu Koordinatenfklaffungen von einigen dm bis hin zu 1 - 2 m führt, will niemand gerne hören (so geschehen in Niedersachsen - wo man die größten Klaffungen in die Elbe gedrückt hat - und in Hessen). Die mittelalterlichen innerdeutschen Zollgrenzen waren im Grunde so etwas Ähnliches. Natürlich hatten beide Vermessungs- und Katasterverwaltungen gute Gründe: Sie wollten ein spannungsfreies Festpunktfeld als Grundlage für ein Koordinatenkataster realisieren und fanden keine Resonanz bzw. keine zeitlichen Perspektiven im übrigen Deutschland.

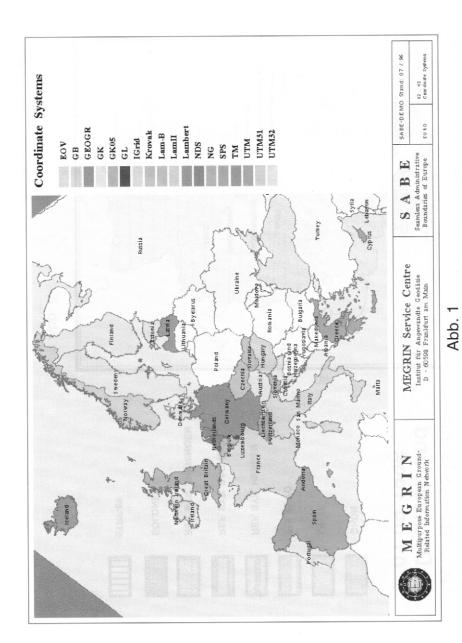
Welche unterschiedlichen Bezugssysteme (einschließlich verschiedener Netzausbreitungen) werden heute in Deutschland benutzt (Abb. 2):

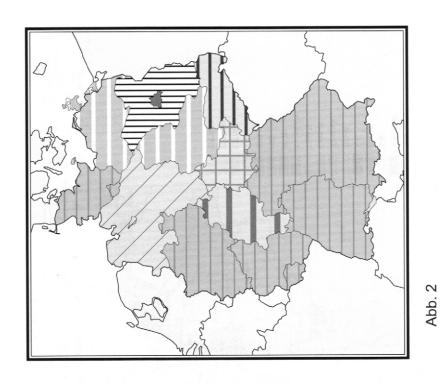
- a) das DHDN abgeleitet aus dem westdeutschen Teil des RDN;
- b) die Niedersächsische Netzausbreitung (LS 100);
- die Hessische Netzausbreitung;
- d) Berlin: 18. Soldnersystem Müggelberg und andere Systeme;
- Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg, Sachsen-Anhalt:
 für Katastervermessungen wird offenbar noch das System 42/83 der
 ehemaligen DDR benutzt; für kartographische Arbeiten das System
 RD-83 (vom IfAG über 106 identische Punkte durchgeführte Transformation der 42/83-Koordinaten in das RDN); Brandenburg hat
 sich soeben als erstes Bundesland entschlossen, das ETRS-89 wirklich einzuführen:
- f) Thüringen benutzt offenbar eine halboffiziell vom IfAG in Leipzig durchgeführte Versuchstransformation, wobei entlang der ehemaligen Zonengrenze 13 identische Punkte benutzt wurden (PD 83);
- g) Sachsen hat die unter e) beschriebene Variante als s\u00e4chsisches Bezugssystem (auch f\u00fcr das Liegenschaftskataster) eingef\u00fchrt.

Die vor dem und im 2. Weltkrieg gelungenen Bemühungen zur Schaffung eines einheitlichen deutschen Bezugssystems sind also allmählich wieder zerfallen. Deutschland ist heute wie Europa ein bunter Flickenteppich; Katasterkarten kann man in den Landesgrenzen nicht unmittelbar miteinander verbinden.

Damit sind wir in keiner Weise auf die Anforderungen der Großabnehmer (z.B. der Stromerzeuger) vorbereitet. Wir haben im Grunde versagt.

Anfang 1995 wurde ein problematischer Ausweg diskutiert (abwarten bis die übrigen europäischen Staaten verbindlich das ETRS einführen). Das Problem würde dadurch ins Unendliche verlagert. Für die Bundesländer, die seit 1990 das System 42/83 vorläufig weiterbenutzen, war dies eine herbe Enttäuschung.





Bezugssysteme in Deutschland 01.09.1996

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.100

1.1000

1.1000

1.1000

1.1000

1.1000

1.1000

1.1000

1.1

70

Das Plenum der Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) hat im Mai 1995 beschlossen, das ETRS einzuführen, wobei die Realisierung zurückzustellen ist, bis ALK und ATKIS fertiggestellt sind. Was dieser Beschluß in seiner Komplexität wirklich bedeutet, kann heute noch nicht abschließend beurteilt werden.

Im übrigen beinhaltet derselbe AdV-Beschluß auch die Einführung der UTM-Projektion, die zur gegebenen Zeit die Gauß-Krüger-Projektion ablösen soll.

Frühere Europäische Lösungen

3.1 Das Zentraleuropäische Netz und das Bezugssystem ED50

Nach dem 2. Weltkrieg wurde am damaligen Institut für Erdmessung in Bamberg unter Mitwirkung amerikanischer Geodäten eine vollständige wissenschaftliche Neubearbeitung der Messungselemente aus dem deutschen Reichsdreiecksnetz und der umliegenden Triangulationen durchgeführt, die zum Zentraleuropäischen Netz und dem Europäischen Datum 1950 führte. Für die Lagerung und Orientierung des Netzes wurde die Quadratsumme der Lotabweichungen auf 183 Stationen (davon 107 Laplace-Punkte) minimiert (Wolf 1949). Auf diese Weise wurde erreicht, daß die Lotabweichungen an keiner Stelle des Netzes extreme Beträge annehmen. Als Bezugsfläche diente das 1909 von Hayford abgeleitete Referenzellipsoid (seit 1924 Internationales Ellipsoid). Von den im Bereich des ZEN in die engere Wahl genommen 59 Basisvergrößerungsseiten erwiesen sich 46 als brauchbar. In diese Ausgleichung wurden alle Messungen einbezogen, die einem vorgegebenen Genauigkeitsstandard genügten. Das Netz wurde nach amerikanischen Vorbild als Rahmennetz aufgebaut, da die seinerzeit vorhandenen Rechenhilfsmittel keine strenge Ausgleichung eines Flächennetzes von der Größe des ZEN erlaubten (23 Knotennetze und 35 Verbindungsketten). Da im inneren der Maschen des Rahmennetzes koordinierte Punkte fehlten, hat man später Füllnetze berechnet, wobei die Lagerung, die Orientierung und der Maßstab aus dem ZEN übernommen wurden (Einzelheiten siehe bei Ihde et. al., 1995 und in der dort aufgelisteten Fachliteratur). Das ZEN ist alsdann durch Anbindung mehrerer großer Blöcke nach Norden, Westen und Süden hin zum Europäischen Dreiecksnetz weiterentwickelt worden. Verwendung fand diese Lösung vor allem im militärischen Vermessungswesen der westeuropäischen Staaten.

In Kenntnis der damals begrenzten Möglichkeiten und der Schwächen in den benutzten Daten hat die IAG über ihre Permanente Kommission für das Europäische Triangulationsnetz (RETrig) von 1954 bis 1987 an einer fundamentalen Neubearbeitung dieses Netzes gearbeitet. Im Rahmen dieses Vorhabens sind über viele Jahre hinweg Basen und Basisvergrößerungsnetze neu vermessen, ungünstige Netzfiguren aufgelöst und insbesondere zahlreiche elektronische Entfernungsmessungen durchgeführt worden. Das Abschlußergebnis ist unter dem Begriff ED87 dokumentiert, wobei festzuhalten ist, daß als Datum weiterhin das ED50 angehalten wurde. Während mit der früheren Lösung der 50-ziger Jahre nur eine Genauigkeit von 10-20 m an den Rändern des Kontinents erreicht wurde, dürfte das ED87 insgesamt eine Genauigkeit von wenigen Metern aufweisen (Ehrnsperger 1987). Graphische Abbildungen der Lösungen ED50 und ED87 findet man ebenfalls bei Ehrnsperger.

3.2 Die Bezugssysteme 42

Das bis 1990 allgemein genutzte Lagebezugssystem der osteuropäischen Länder wird im allgemeinen als "System 42" bezeichnet. Die Datumsparameter des Systems 42 wurden für das Observatorium Palkowo im Jahre 1942 durch eine Lotabweichungsausgleichung des Trigonometrischen Netzes im europäischen Teil der UdSSR auf dem Krassowskij-Ellipsoid ermittelt. Das System wurde 1942 durch Ministerratsbeschluß für die UdSSR eingeführt. Mit der Gründung des Warschauer Paktes wurde das System 42 auf dessen Gesamtbereich ausgedehnt.

Die Realisierung des Systems erfolgte in zwei Schnitten. Eine erste Ausgleichung mit Flächennetzen und Rahmennetzen 1. Ordnung wurde als Astronomisch-Geodätisches Netz 1956/57 fertiggestellt. 1963 wurde das Astronomisch-Geodätische Netz der ehemaligen DDR separat ausgeglichen (zwecks Schaffung einer verbesserten Grundlage für das Staatlich Trigonometrische Netz 3. Ordnung). Nach 1970 wurden alsdann die nationalen AGN der osteuropäischen Staaten durch zusätzliche Richtungs- und Streckenmessungen sowie Laplace-Azimute ergänzt und zum Einheitlichen Astronomisch-Geodätischen Netz (EAGN) weiterentwickelt. Die Ausgleichung des EAGN wurde 1983 als Flächennetz abgeschlossen (flächendeckende Beobachtungen und in der UdSSR Ketten 1. Ordnung, die durch Füllnetze 2. Ordnung verdichtet sind); die Datumsparameter des Systems wurden beibehalten (Datumsfestlegung 1942, Realisierung 1983, Kurzbezeichnung: System 42/83 - siehe Ihde et. al, 1995).

Bei beiden Bezugssysteme sind klassische zweidimensionale geodätische Referenzsysteme, deren Lagerung den Anforderungen der elektronischen Navigation nicht genügt (beim ED50 betragen die Differenzen des Ellipsoidmittelpunktes von Geozentrum in etwa 100 m in den drei Achsrichtungen).

4. Das neue Europäische Bezugssystem EUREF

In der Erkenntnis, daß man künftig für den europäischen Bereich sowohl für Zwecke der hochgenauen Grundlagenvermessung als auch für die verschiedensten geodynamischen Aspekte ein hochgenaues geozentrisches Referenzsystem benötigt, hat die IAG im August 1987 anläßlich ihrer Generalversammlung nach dem Auslaufen der langjährigen RETrig-Kommission eine neue Subkommission "EUREF" gebildet, die die diesbezüglichen Fragestellungen bearbeiten soll. Etwa einen Monat später befaßte sich das Plenum des Comité Européen des Responsables de la Cartographie Officielle (CER-CO) anläßlich der CERCO-Generalversammlung 1987 in Athen auf Drängen ihres damals portugiesischen Präsidenten Pinto mit den gleichen Fragestellungen - allerdings mehr aus der Sicht der digitalen Kartographie, der Navigation und all der daraus resultierenden praktischen Anwendungen - und beschloß die Einrichtung einer CERCO Working Group VIII (heute WG on Geodesy), die sich mit allen Konsequenzen aus der Einführung des GPS befassen sollte; der Verfasser dieses Berichtes wurde zum Präsidenten dieser neuen Arbeitsgruppe bestimmt.

In der Erkenntnis der in praxi hochgradigen Übereinstimmung in der Aufgabenstellung und zur Vermeidung von Doppelarbeit haben beide Gremien schon im Laufe des Jahres 1988 eine hochprozentige Zusammenarbeit beschlossen und vereinbart, nur eine praxisgerechte Lösung zu erarbeiten. Die ersten entscheidenden Weichenstellungen in diese Richtung erfolgten 1988 anläßlich der ersten Sitzung der CERCO WG III in Frankfurt a.M., zumal es sich herausstellte, daß von Amts wegen nahezu alle CERCO-WG VIII-Mitglieder auch der EUREF-Subkommission angehörten. Die Gesamtproblematik wurde alsdann am 20./21.10.1988 während einer gemeinsamen Tagung der IAG EUREF-Subkommission und von CERCO WG III in München erneut analysiert, wobei abschließend im Sinne schnellstmöglicher Umsetzung vereinbart wurde, daß bereits im Mai 1989 eine erste umfassende GPS-Beobachtungskampagne zur Realisierung von EUREF durchzuführen sei; dabei mußte man sich seinerzeit naturgemäß zunächst auf West-, Nord- und Südeuropa beschränken. Zur Vorbereitung der EUREF-GPS-Kampagne wurde während der o.a. Münchener Sitzung ein Steering-Committee gebildet, dem die Herren Augath/Hannover (D), Bordley/Southampton (UK), Boucher/Paris (F), Engen/Honefoss (N), Gurtner/Bern (CH), Seeger/Frankfurt (D) und Sigl/München (D) angehörten; der Präsident des IfAG wurde gebeten, den Vorsitz diese Gremiums zu übernehmen.

Im Anschluß an ausführliche Vorüberlegungen sind seinerzeit die Grundlagen des künftigen europäischen Bezugssystems (ETRF = European Terrestrial Reference System) während der EUREF-Symposien in Forenz (28.05.31.05.1990) und Bern (04.03.-06.03.1992) vereinbart und in Resolutionen beschlossen worden.

Zum besseren Verständnis sei daran erinnert, daß IAG und IUGG 1987 einen neuen Internationalen Erdotationsdienst (IERS = International Earth Rotation Service) eingerichtet haben, der sich damals im wesentlichen auf SLR- und VLBI-Ergebnisse stützte. Die von den verschiedenen Rechenzentren für ein bestimmtes Jahr abgeleiteten SLR bzw. VLBI-Lösungen werden am BIH und IGN in Paris gesammelt, analysiert und einer gemeinsamen Lösung zugeführt. Hierbei wird für den Beginn eines jeden Jahres (z.B. für 1994.0) ein globaler gemeinsamer Satz von Stationskoordinaten abgeleitet (= ITRF 19xx.0 = International Terrestrial Reference Frame 19xx.0); die Genauigkeit dieser x, y, z - Koordinaten wurde damals für den europäischen Bereich mit \pm 15-20 mm geschätzt.

Nach den o.a. Florenzer Beschlüssen sind Ausgangselemente des ETRF die für den Beginn des Jahres 1989 (1989.0) für alle europäischen SLR- und VLBI-Stationen abgeleiteten ITRF-Koordinaten (zu diesem Zeitpunkt bestand Kongruenz zwischen ITRF und ETRF). Die o.a. Koordinaten definieren also als Punkthaufen das ETRF, das künftig alsdann mit dem stabilen Teil von Europa rotiert. Untersuchungen haben ergeben, daß das ITRF-89 (also auch das ETRF-89) und das WGS-84 bis auf 1 - 2 m übereinstimmen. Anläßlich des EUREF-Symposiums in Bern wurde alsdann zusätzlich festgelegt, daß als Bezugsfläche das GRS-80 Ellipsoid zu benutzen ist, das sich nur ganz unwesentlich vom WGS-84 Ellipsoid unterscheidet.

Im Vorfeld der EUREF-Aktivitäten wurde erkannt, daß die Anzahl der vorhandenen SLR- und VLBI-Stationen in einigen Regionen Europas, insbesondere in der nördlichen Hälfte, zu gering war. Um diesem Mangel abzuhelfen, hat das IfAG im Verbund mit mehreren anderen nationalen Einrichtungen für die Zeit von Juni 1989 bis September 1989 ein mobiles Radioteleskop (MV-III) in den USA vom National Geodetic Survey (NGS/NOAA) angemietet und dieses alsdann für hochgenaue Positionsbestimmungen in Norddeutschland (Hohenbünstorf/Lüneburger Heide), Finnland (Metsähovi), Norwegen (Tromsö), Buddon (UK/Schottland), Brest (Frankreich) und Grasse (Frankreich) eingesetzt, wo auf speziellen französischen Wunsch eine Kollokation mit den dortigen SLR-Systemen stattfand.

Die beiden nach 1945 abgeleiteten terrestrischen Bezugssysteme für Westeuropa (in Osteuropa wurde zwangsläufig ein anderer Weg entworfen und realisiert), das ED50 und das ED87, haben sich nicht europaweit durchsetzen können. Während das ED50 immerhin in vielen Staaten als das offizielle militärische Bezugssystem eingeführt und von der NATO sogar bis vor kurzem als das kontinentweite Referenzsystem praktisch genutzt wurde, konnte sich das ED87 - weil viel zu spät vorgelegtes Ergebnis der permanenten IAG-RETrig-Subkommission - nicht mehr durchsetzen, obwohl es mit einer großräumigen Genauigkeit von ca. 2 m eine durchaus akzeptable Realisierung geworden ist.

Mitte der achtziger Jahre zeichnete sich mehr und mehr ab, daß sich alsbald dringender Bedarf aus der Praxis für ein damals west-europaweites neues Bezugssystem ergeben würde - und inzwischen auch ergeben hat -, das darüber hinaus weitgehende Übereinstimmung mit dem WGS-84 haben sollte, da Positionsbestimmungen mit Hilfe von GPS sich zunächst einmal auf dieses System beziehen.

Verursacher einer solchen Forderung waren und sind im Grunde nicht die Vermessungsverwaltungen der europäischen Staaten sondern Nutzer aus den Bereichen der europäischen Administration, die sich mit dem Chaos nationaler Dateien aus dem Bereich der digitalen Kartographie (keine einheitlichen Datenformate, überall verschiedene Bezugssysteme) auseinanderzusetzen haben, und der Navigation, die sich auf die Nutzung des GPS-Systems bei der Positionsbestimmung von Land-, See- und Luftfahrzeugen einstellt (u.a. die Kfz-Navigation in den verschiedensten Ausbaustufen).

Ein Beispiel für eine vordringliche Anforderung aus dem Bereich der EG war der von EUROSTAT erhobene Anspruch auf schnelle Bereitstellung digitaler Datensätze für alle Staats-, Länder-, Kreis- und Kommunalgrenzen. Die europäischen Vermessungsverwaltungen konnten diesen Bedarf sogar nur so langsam decken, daß für eine Vorstufe zunächst die Privatindustrie einzuschalten war (d.h. das amtliche Vermessungswesen war trotz jahrelanger Vordiskussion wiederum nicht vorbereitet, als die tatsächliche Anforderung nun allerdings kurzfristig - kam). Auf dem Gebiet der Navigation sei als Beispiel auf die Entwicklung bei EUROCONTROL - der europäischen Flugsicherungsstelle - hingewiesen. Man war gerade dabei zu entscheiden, daß in wenigen Jahren alle Navigationshilfen (Funkstationen, Radarstationen u.a.m.) sowie die gesamten Flughafenstationen (Landebahnbezugspunkte u.a.m.) auf ein einheitliches und WGS-84 nahes europäisches Bezugssystem umzustellen sind. Für die Kfz-Navigation andererseits benötigt man einheitliche digitale Datensätze, die grenzüberschreitend vorausgewählte Gebiete von Europa umfassen und in Kraftfahrzeug-Navigationssystemen mitgeführt werden können. Auch hier entstand immenser Druck von der Nutzerseite her.

4.1 Die EUREF-89 GPS-Kampagne

Die ca. 23 genauen SLR- und VLBI-Positionen in Westeuropa genügten hinsichtlich der Anzahl nicht den EUREF-Anforderungen, insbesondere wenn es darum ging, die nationalen Punktfelder nach Lage und Höhe in das neue Bezugssystem ETRF zu überführen; hierzu benötigt man bekanntlich wenigstens 3, besser jedoch 5-8 identische Stationen mit jedem der nationalen Referenzsysteme. Die hierzu erforderliche Verdichtung des vorhandenen Punktfeldes der SLR- und VLBI-Stationen, war mit Hilfe einer großräumigen GPS-Kampagne vorzunehmen.

Zur Vorbereitung der für Mai 1989 vorgegebenen EUREF-89 GPS-Verdichtung mußte das EUREF-Steering-Committee zweimal zusammentreten, nämlich am 13.12.1988 in München und am 02./03.03.1989 in Frankfurt a.M.. Zur Ausarbeitung der erforderlichen einheitlichen Beobachtungsstrategie einschließlich der Feldbuch- und Einmessungsvordrucke sowie zur Steuerung des gesamten Detailablaufes wurde der Leiter der Satellitenbeobachtungsstation Wettzell, Wiss.Dir. Dr. Schlüter, vom Leiter des Steering Committees zum Operations-Manager bestimmt, dem zur weiteren Unterstützung eine Arbeitsgruppe bestehend aus den Herren Gurtner/CH, Gehlich/Berlin, Rekkedal/N und Seifert/D zugeordnet war. Das EUREF-Steering-Committee hat zunächst über eine Umfrage bei den beteiligten Staaten feststellen lassen, wieviele und welche Verdichtungspunkte von den einzelnen Vermessungsverwaltungen vorgeschlagen wurden. Als Ergebnis wurden - nach einer kräftigen Ausdünnung der Vorschläge im Bereich A. D. CH. NL und B - 78 Verdichtungspunkte ausgewählt, so daß sich für das damalige "Westeuropa" zusammen mit den vorgegebenen ETRF-Stationen ein Punktfeld von 93 Stationen ergab. Über eine weitere Umfrage wurde alsdann ermittelt, wieviele 2-Frequenz-GPS-Empfänger zum 01.04.1989 in Westeuropa verfügbar sein würden; als Ergebnis wurden registriert:

- 21 TI 4100,
- 4 MINIMAC
- 15 WILD-MAGNAVOX 102 und
- 29 Trimble 4000 SLD (SXD).

Zur Einweisung und Überwachung der aus den verschiedensten Ländern eingesetzten Teams wurde jedes CERCO-Mitgliedsland gebeten, einen nationalen Repräsentanten für diese Kampagne zu benennen; die entsprechenden Damen und Herren haben sich alsdann am 24./25.04.1989 in Frankfurt getroffen, um letzte Regularien abzusprechen. Die eigentliche GPS-Beobachtungs-Kampagne hat in der Zeit vom 16.05. bis zum 28.05.1989 stattgefunden, wobei im Hinblick auf die beschränkte Anzahl an verfügbaren Empfängern 2 Beobachtungsphasen A und B erforderlich waren, die für folgende Zeiträume angesetzt wurden

Phase A: 16. - 21.05.1989 mit 61 Stationen Phase B: 23. - 28.05.1989 mit 55 Stationen.

Von den 69 bereitgestellten 2-Frequenz-Empfängern wurden 7 für die Dauer der Beobachtungskampagne als Ersatzreserve jeweils zusammen mit einem Beobachter in dezentral über Europa verteilten Städten vorgehalten, damit bei Geräteausfällen möglichst kurzfristig Ersatzausrüstungen ins Feld geführt werden konnten. Während der eigentlichen GPS-Beobachtungen sind alsdann in der ersten Beobachtungsphase (A) tatsächlich 7 Empfänger ausgefallen, so daß alle Reserveeinheiten benötigt wurden; darüberhinaus gab es erfreulicherweise keine weiteren Notrufe.

Die Gesamtzahl von 93 Stationen beinhaltet:

15 SLR-bzw./und VLBI Positionen

* 23 Überlappungsstationen zur besseren Verknüpfung der beiden Phasen A und B, auf denen während beider Beobachtungsphasen gemessen wurde, von denen

* 8 keine SLR-/VLBI-Positionen sind, sondern Neupunkte, die der

Stabilisierung des Gesamtnetzes dienten.

Im Anschluß an die Feldkampagnen wurden die angefallenen Daten durch insgesamt 11 Preprocessing Centres überprüft und in das von der Universität Bern entwickelte und international übernommene empfängerunabhängige Standardformat RINEX überführt. Hierbei hat sich herausgestellt, daß etliche neue Trimble-Empfänger auf der zweiten Frequenz weitaus weniger Daten als für die erste Frequenz registriert hatten (es handelte sich bei EU-REF-GPS im Grunde um die erste große Kampagne, bei der die neuen Trimble 2-Frequenz-Geräte eingesetzt worden sind). Die bereinigten Daten wurden alsdann in eine Datenbank eingeschleust, die für dieses Projekt am Astronomischen Institut der Universität Bern eingerichtet wurde.

Das Gesamtprojekt ist von einer inter-institutionellen Arbeitsgruppe ausgewertet worden, der Mitarbeiter des Astronomischen Instituts der Universität Bern (Frankhäuser, Gurtner), der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung (Ehrnsperger, Wende), des Instituts für Angewandte Geodäsie (Friedhoff, Habrich) und des französischen Institute Géographique National (Bitton) angehörten. Teilmengen sind darüberhinaus auch an der TU Delft und mit Unterstützung des britischen Ordnance Survey an der Universität Nottingham (UK) berechnet worden. Die inzwischen abgeschlossenen sehr umfangreichen Auswertearbeiten lassen sich in etwa wie folgt zusammenfassen:

Während die innere Genauigkeit auf den ETRF-SLR- und ETRF-VLBI-Positionen 13-23 mm in x, y, z beträgt, wurden für die GPS-Neupunkte Werte um \pm 40 mm bezogen auf die Horizontale und \pm 60 mm auf die Höhe geschätzt. Allein auf Grund der Ausgleichungsergebnisse wurden bis auf 5 Ausnahmen 1-sigma Werte erzielt, die kleiner als 1 cm sind. Zur Vereinfachung der sehr umfangreichen Aufgabe ist das Netz zunächst in 6 Teilnetze zerlegt worden, deren Ergebnisse alsdann verenigt wurden:

EUREF-TR: alle SLR- und VLBI- plus 3 ausgewählte Sta-

tionen;

EUREF-CW: UK, Island, Frankreich, Belgien;

EUREF-SW: Spanien, Portugal;

EUREF-CE: Holland, Deutschland, Österreich, Schweiz;

EUREF-SE: Italien, Griechenland;

EUREF-NO: Dänemark, Norwegen, Schweden, Finnland.

Im Anschluß an einige abschließende Überprüfungen ist alsdann im Frühsommer 1992 ein Verzeichnis der Koordinaten erstellt und an die beteiligten Dienststellen verteilt worden, das als seinerzeitige Realisierung des ETRF und der Bezeichnung "EUREF-89" zu bezeichnen ist.

Anläßlich ihres Symposiums in Bern (März 1992) hat die IAG-EUREF-Sub-kommission für den Fall, daß für einzelne Koordinatenwerte Verbesserungen erforderlich werden bzw. Erweiterungen einzubeziehen sind, und in der Erkenntnis, daß solche Entscheidungen die Homogenität des Gesamtnetzes beinflussen können, spezifische Regularien erlassen und zu deren Realisierung eine EUREF-Technical Working Group eingesetzt. Nach den vom EU-REF-Plenum verabschiedeten Richtlinien mußte zunächst jede Kampagne, die der Erweiterung bzw. Verbesserung des EUREF-Punktfeldes diente, eine hinreichende Anzahl von ETRF-Stationen (SLR-VLBI- und andere Punkte) im betr. Bereich bzw. in der Umgebung des betr. Gebietes einbeziehen. Die o.a. Technical Working Group hat alle Verbesserungs- bzw. Ergänzungsvorschläge zu überprüfen und alsdann des EUREF-Subkommission Empfehlungen zur Einbeziehung solcher Ergebnisse vorzulegen.

4.2 EUREF-Anschlußprojekte 1989-1996

Im September 1989 wurden auf Grund einer Vereinbarung zwischen dem Türkischen Generalkommando für die Landesvermessung und dem IfAG 20 Knotenpunkte des türkischen Hauptdreicksnetzes an die drei westlichen MEDLAS-SLR-Stationen in der Türkei angeschlossen:; über diese Maßnahme ist auch die Türkei in das ETRF einbezogen worden.

Im Mai 1989 konnten alle nord/nordwestlich von Europa gelegenen europäischen und zum Teil arktischen Gebiete nicht in das EUREF-GPS-Vorhaben einbezogen werden, da dafür weder die erforderlichen Empfänger zur Verfügung standen noch sich damals für den Gesamtbereich von Griechenland bzw. Finnland bis hinauf nach Grönland und dem nördlichen amerikanischen Kontinent ein einheitliches Beobachtungsfenster definieren ließ. Aus diesem Grunde ist für die Zeit vom 23.07.-01.08.1990 vom IfAG und vom norwegischen Statens Kartverk gemeinsam eine zweite Ergänzungskampagne (EUREF-NW) vorbereitet und abgewickelt worden, über die 16 zusätzliche Stationen, nämlich

- 3 auf Spitzbergen
- 4 auf Island,
- 1 auf den Faröer.
- 1 auf Hopen,
- 1 auf Jan Mayen,
- 1 auf Bjevernoya,
- 4 auf Grönland.

an EUREF-89 angeschlossen wurden. Das Projekt umfaßte darüber hinaus 13 EUREF-Anschlußstationen in Europa sowie 10 GPS-Stationen auf dem nordamerikanischen Kontinent, die dem Anschluß an die VLBI-Stationen bei Boston, in Canada und in Alaska dienten.

Im Gefolge der politischen Veränderungen in Osteuropa haben sich alsdann vom Herbst 1990 an völlig neue Aspekte für EUREF ergeben, an die während der Design-Phase noch niemand zu denken gewagt hätte. Schon alsbald sind nacheinander aus den meisten osteuropäischen Staaten Wünsche zur Einbeziehung in dieses neue europäische Referenzsystem vorgetragen worden, aus denen sich zahlreiche neue Aktivitäten ergeben haben.

Von 1990 bis 1996 sind daraufhin folgende Anschlußprojekte realisiert worden (Abb. 3 und 4):

 Chechien, Slowakei und Ungarn (29.10.-03.11.1991, 10 Neupunkte, 12 Anschlußstationen);

* Polen (0.4.07.-08.07.1992, 11 Neupunkte in Polen sowie in Li-

tauen, 17 Anschlußpunkte);

* Baltische Staaten (30.08.-06.09.1992 mit 12 Stationen in Litauen, Lettland und Estland sowie 14 Anschlußstationen in den benachbarten Ländern);

* Bulgarien (04.10.-08.10.1992, 7 Neupunkte und mehreren Anschlußstationen in Bereich von Ungarn, der Türkei, Griechenland, Italien, der Schweiz, Deutschland und Österreich);

Zypern (27.01.-01.02.1993 mit 6 Hauptdreickspunkten in Zypern und 4 Referenzstationen in der Türkei, auf Kreta, auf Rhodos und in Israel);

* Kroatien und Slovenien (30.05.-03.06.1994 mit 8 Neupunkten in Slovenien und 10 in Kroatien und Anschlüssen an die GPS-Permanentstationen in Wettzell (D), Graz (A) und Matera (I); vom 29.08.-12.09.1996 ist der 1994 besetzte Teil Kroatiens nachträglich einbezogen worden);

Rumänien (26.09.-30.09.1994 mit 7 Neupunkten in Rumänien und 10 Kontrollstationen in Bulgarien, der Türkei und in Un-

garn);

* Ukraine (19.06.-23.06.1995 mit 15 Stationen in der Ukraine und Anschlüssen an 10 IGS-Stationen in den benachbarten Staaten);

* Mazedonien (12.08.-16.08.1996) mit 7 Neupunkten in Mazedonien und Anschlüssen an die benachbarten IGS-Stationen sowie Kontrollpunkten in Bulgarien und in Kroatien);

EUREF STATUS 1996



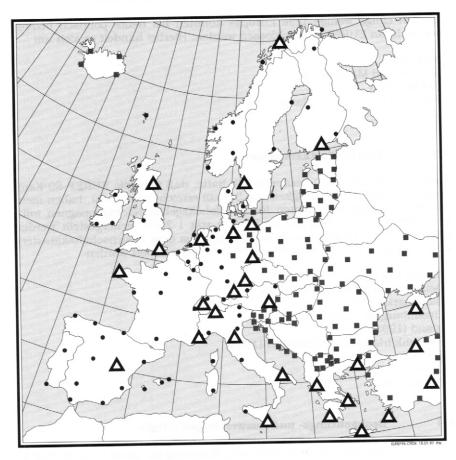
1991 1992

1994



Abb. 3

EUREF-89/96



▲ SLR resp. VLBI
• EUREF-89 Densification Stations
■ EUREF 90/91/92/93/94/95/96

Abb. 4

Malta (29.10.-03.11.1996) mit 6 Neupunkten auf Malta und Gozo sowie Anschlüssen an die IGS-Stationen in Griechenland und Italien sowie die SLR-Plattform auf Lampedusa.

Lediglich einige wenige Teile Europas konnten bis heute politisch bedingt noch nicht an EUREF angeschlossen werden. Hierbei handelt es sich um

- Albanien
- Serbien und Montenegro
- Bosnien und
- Weißrußland sowie Rußland.

4.3 EUREF-Postkampagnen

Nachdem sich um 1990 herausgestellt hatte, daß über die EUREF-89-Kampagne nur eine Lagegenauigkeit von 3-5 cm erreicht worden ist, haben mehrere west-europäische Staaten für ihr Hoheitsgebiet Nachkampagnen initiiert, über die Genauigkeiten im Bereich von 1-2 cm sichergestellt werden sollten (z.B. auf Grund von Anforderungen aus dem Liegenschaftskataster). U. a. für folgende Bereiche sind solche Projekte realisiert worden

- England (1992)
- Deutschland und Holland (1993)
- Dänemark (1994)
- Luxemburg und Belgien (1994)
- Island (1993)
- Republik Irland und Nordirland (1995)
- Schweiz
- Österreich
- Frankreich

4.4 Beobachtungs- und Auswertungsstrategie

Mindestens seit 1995 ist eine drastische Änderung im Bereich der Beobachtungsstrategie vereinbart und vollzogen worden. Während man in den früheren Jahren regelmäßig Anschlüsse an bereits früher bestimmte Stationen in den Nachbarstaaten angeschlossen hat (wobei deren Geschwindigkeitskomponenten häufig nicht zuverlässig bekannt waren), werden EUREF-Kampagnen heute allein über die benachbarten IGS-Stationen ausgewertet. Stationen in den Nachbarstaaten dienen nunmehr allein der Kontrolle.

Bei der Auswertung von EUREF-Kampagnen wird heute besonderer Wert auf eine saubere Anschlußphilosophie gelegt, wobei sichergestellt wird, daß die

Auswertung zur Beobachtungsepoche erfolgt, und darauf geachtet wird, daß die benutzten Bahnelemente und die Anschlußkoordinaten sich ebenfalls auf diese Epoche beziehen. Erst danach erfolgt eine Rotation auf die Bezugsepoche 1989.0.

4.5 EUREF-Permanent-Stationen

Zur Realisierung einer kontinuierlichen geodynamischen Überwachung des gesamten EUREF-Gebietes wird zur Zeit ein System von EUREF-GPS-Permanentstationen realisiert und bereits jetzt von mehreren Rechenzentren täglich ausgewertet.

4.6 EUREF-Höhensystem für GIS

CERCO benötigt dringend eine einheitliches europäisches Höhensystem für kontinentale Anwendungen auf dem Gebiet der Digitalen Kartographie (GIS). Die EUREF Technical Working Group hat hierzu eine Untergruppe gebildet, die von Prof. Augath/Dresden geleitet wird. Vereinbart ist, daß dieses Höhensystem sich auf den Pegel zu Amsterdam beziehen und Normalhöhen beinhalten wird. Zur Vorbereitung einer solchen Lösung ist zunächst das UELN-Gebiet unter Einbeziehung neuer Daten neu ausgeglichen worden. Zur Zeit wird dieser Block schrittweise nach Osten hin erweitert, wobei jeweils eine Neuausgleichung des Gesamtgebietes erfolgt (Rechenstelle IfAG-Leipzig). Einbezogen sind heute bereits die neuen Länder der Bundesrepublik, Polen, Chechien, die Slowakei und Ungarn.

Literatur

Ehrnsperger, W.; Hornik, H.; Kelm, R.; Tremel, H.: Das Europäische Datum 1987 (ED 87) als Gebrauchsnetz für die Landesvermessung, Z.f.Verm.wesen 1987, S. 93-104.

Levasseur, K.: Das Zentraleuropäische Dreiecksnetz- In: Veröffentlichungen des Institutes für Erdmessung, S. 19 - 96. - Bamberger Verlagshaus Meisenbach & Co., 1949.

Schmidt, R.: Die Bezugsflächen des Lagepunktfeldes und des Höhenpunktfeldes in der Bundesrepublik Deutschland sowie ihre gegenseitigen Beziehungen. - In: Veröff. D. deutschen Geodätischen Kommission, Reihe B, Heft Nr. 282, München 1986.

- Seeger, H.: EUREF Aufbau eines neuen geodätischen Bezugssystems in Europa, DVW-Schriftreihe 11/93, S. 12-15.
- Seeger, H.: EUREF, The New European Reference Datum and ist Relationship to WGS-84, FIG XX. Congress, Melbourne, 05.-12.03.1994.
- Seeger, H.; Adam, J.; Augath, W.; Boucher, C.; Gubler, E.; Gurtner, W.; van der Marel, H.; Zielinski, J.B.: The new European Reference System EUREF, Status Report 1995, paper submitted to the IUGG General Assembly in Boulder (Col, USA), July 1995 (1995 a).
- Seeger, H.: Zur Einführung des ETRS in Deutschland, Zeitschrift für das Öffentliche Vermessungswesen des Landes Sachsen-Anhalt, Heft 2/1995, S. 75-79 (1995 b).
- Seeger, H.: Zur Einführung der ETRS in Deutschland, Zeitschr. f. d. Öff. Vermessungswesen des Landes Sachsen-Anhalt, Heft 2/1995, S. 75-79 (1995 c).
- Wolf, H.: Die Lotabweichungsausgleichung für das Zentraleuropäische Netz. In: Veröff. d. Institutes für Erdmessung, Heft 6: Beiträge zur Lotabweichung und Geoidbestimmung, S. 21-44, Bamberger Verlagshaus Meisenbach & Co., Bamberg 1949/1.
- Wolf, H.: Die zweite Lotabweichungsausgleichung für das Zentraleuropäische Netz. In: Veröff. d. Institutes für Erdmessung, Heft 6: Beiträge zur Lotabweichungsausgleichung und Geoidbestimmung, S. 91-104, Bamberger Verlagshaus Meisenbach & Co., Bamberg 1949/2.
- Wolf, H.: Über die Ausgleichung von Dreiecksnetzen. Allgemeine Grundlagen und ein Neuvorschlag. In: Veröffentlichungen des Institutes für Erdmessung, S. 97-122, Bamberger Verlagshaus Meisenbach & Co., 1949/3.
- Wolf, H.: Versuch einer Geoidbestimmung im mittleren Europa aus astronomisch-geodätischen Lotabweichungen. In: Veröff. d. Deutschen Geodätischen Kommission, Reihe B, Frankfurt am Main 1956.
- Wolf, H.: Über die Ausgleichung von Füllnetzen im Rahmen des Zentraleuropäischen Dreiecksnetzes RE 1950 In: Veröff. d. Deutschen Geodätischen Kommission, Reihe B, Heft Nr. 47, S. 5-8, Frankfurt am Main, 1957.
- Wolf, H.: Das Europäsiche Dreiecksnetz, Ursprung, Entwicklung und künftige Möglichkeiten. In: Geodätische Woche Köln 1975, S. 40-50, Verlag K. Wittwer, Stuttgart 1976.

Wolf, H.: Datumsbestimmungen im Bereich der deutschen Landesvermessung. - In: Z.f.Verm.wesen. - Stuttgart 112 (1987) 8. - S. 406-413.

Vitae und Anschriften der Verfasser

Dr. phil. habil. Dieter Hoffmann Jahrgang 1948

Physikstudium an der Humboldt-Universität, dort auch 1976 Promotion und 1989 Habilitation auf dem Gebiet der Wissenschaftsgeschichte. 1975 - 91 Mitarbeiter für Theorie, Geschichte und Organisation der Wissenschaft, Abtlg. Wissenschaftsgeschichte, der AdW, 1991/92 Mitarbeiter der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, 1992 - 95 Mitarbeiter am Forschungsschwerpunkt Wissenschaftsgeschichte in Berlin, ab 1996 Mitarbeiter des Max-Planck-Institutes für Wissenschaftsgeschichte. Gegenwärtig im Nebenamt u. a. Vorsitzender des Fachverbandes Geschichte der Physik in der DPG und Mitglied des Kuratoriums der "Physikalischen Blätter".

Anschrift: Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte Wilhelmstr. 44, 10117 Berlin

Dipl.-Ing. August Hochwartner Jahrgang 1949

Nach dem Studium der Geodäsie an der Technischen Hochschule Wien erfolgte 1975 der Eintritt in das Österreichische Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, dessen Präsident er seit September 1995 als Nachfolger von Dipl.-Ing. Friedrich Hrbk ist. Bevor er dieses Amt übernahm, war er Leiter der Abteilung *Planung, Organisation, Verwaltung* mit dem Schwerpunkt Digitale *Katastralmappe, Berghöfekataster.*

Präsident Hochwartner ist Mitglied der Prüfungskommission für die Ziviltechnikerprüfung, Lektor an der Technischen Universität und an der Universität für Bodenkultur in Wien. Seit 1991 ist er Präsident der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation.

Anschrift: Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen

Schiffamtsgasse 1 - 3, A-1025 Wien

Univ. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Torge Jahrgang 1931

Nach dem Studium der Geodäsie an der Technischen Hochschule Hannover war er wissenschaftlicher Mitarbeiter der Seismos GmbH in Hannover. Nach seiner Referendarzeit 1958 Tätigkeit in der niedersächsischen Vermessungsund Katasterverwaltung. Von 1962 bis 1966 Abordnung zum Geodätischen Institut der TH Hannover; in dieser Zeit Promotion zum Dr.-Ing. Herr Torge war ein Jahr technischer Berater eines Vermessungs- und Katasterprojektes in Zentralamerika und Panama. Seit 1968 ist er ordentlicher Professor an der Universität Hannover und z. Z. Geschäftsführender Leiter des Institutes für Erdmessung. Zahlreiche Ehrenmitgliedschaften zeugen von dem wissenschaftlichen Ruf Torges.

Anschrift: Universität Hannover, Institut für Erdmessung,

Schneiderberg 50, D-30167 Hannover

Univ. Prof. Dr.-Ing. Hermann Seeger Jahrgang 1933

Nach dem Studium der Geodäsie an der Technischen Hochschule Hannover war er dort fünf Jahre wissenschaftlicher Assistent. 1965 wurde Herr Seeger zum Dr.-Ing. promoviert. Von 1972 bis 1978 war er Leiter der Abteilung Geodäsie des Institutes für Angewandte Geodäsie (IfAG) mit dem Schwerpunkt: Einrichten der Satellitenbeobachtungsstation in Wettzell. Danach folgte 1978 die Berufung als o. Prof. für Geodäsie an die Universität Bonn, deren Dekan der Landwirtschaftlichen Fakultät er von 1983 bis 1985 war. Seit 1979 ist Prof. Seeger Mitglied der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Seit 1987 ist er Präsident des IfAG und Mitglied internationaler Gremien, u. a. Leiter der CEN TC 287 Working Group 4 (Reference System).

Anschrift: Institut für Angewandte Geodäsie

Richard-Strauss-Allee 11, D-60598 Frankfurt a. M.