

Paper-ID: VGI_198309



Die Bedeutung der Erdmessung in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft

Karl Ramsayer ¹

¹ *Stuttgart*

Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen und Photogrammetrie **71** (2), S. 95–101

1983

BibT_EX:

```
@ARTICLE{Ramsayer_VGI_198309,  
Title = {Die Bedeutung der Erdmessung in der Vergangenheit, Gegenwart und  
Zukunft},  
Author = {Ramsayer, Karl},  
Journal = {{{"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessungswesen und  
Photogrammetrie},  
Pages = {95--101},  
Number = {2},  
Year = {1983},  
Volume = {71}  
}
```



Die Bedeutung der Erdmessung in der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft

Von K. Ramsayer

Manuskript des Festvortrages, den der inzwischen verstorbene Prof. Ramsayer aus Anlaß der Verleihung der Friedrich-Hopfner-Medaille am 31. 8. 1982 im Rahmen der ÖKIE halten wollte. Seine plötzliche Erkrankung verhinderte diese Präsentation.

Es sind noch keine 300 Jahre her, daß die Menschheit davon überzeugt war, daß die Erde eine Scheibe ist. Ja, vor kurzem habe ich in der Zeitung gelesen, daß es in den Vereinigten Staaten von Amerika heute noch einen Verein gibt, der diese Auffassung vertritt. Welche Schwierigkeiten bei der Vermessung dieser Erdscheibe auftreten würden, wenn wir an den Rand des Okeanos kommen, muß ich Ihrer Phantasie überlassen. Pythagoras wird als Erstem die Postulation der Kugelgestalt der Erde zugeschrieben. Diese Vorstellung wird von Aristoteles im 4. Jahrhundert vor Chr. erhärtet.

Die erste Messung der Größe der Erdkugel verdanken wir Eratosthenes, der im 3. Jahrhundert vor Chr. gelebt hat. Er bestimmte den Breitenunterschied zwischen Alexandrien und Syene, die genähert auf demselben Meridian liegen, mit Hilfe von Sonnenbeobachtungen zu $1/50$ des Vollkreises. Die Entfernung wurde nach den gründlichen Untersuchungen von K. P. Schwarz [1] vermutlich durch amtliche Schrittzähler zu 5000 Stadien ermittelt. Hieraus und aus dem gemessenen Zentriwinkel folgt ein Erdumfang von 250.000 Stadien oder umgerechnet von rund 37.400 km. Diese erste, bereits erstaunlich genaue Bestimmung der Größe der Erde ist eine Großtat ersten Ranges, wenn wir bedenken, daß zur damaligen Zeit nur eine verschwindend kleine Minderheit von der Kugelgestalt der Erde überzeugt war. Der Anlaß war nach [1] der Plan, eine neue Karte des bewohnbaren Teils der Erde zu entwerfen. Daß dies bei großen Gebieten nicht ohne Berücksichtigung der Erdkrümmung geht, war damals nicht selbstverständlich. Die zweite Bestimmung der Größe der Erdkugel mit Hilfe des Meridianbogens Alexandrien – Rhodos durch Posidonius etwa 100 Jahre vor Chr. läßt vermuten, daß damals schon ihre große Bedeutung für die Schiffsnavigation erkannt wurde.

Nach diesen hoffnungsvollen Anfängen der Erdmessung war leider 900 Jahre Ruhe. Die Breitengradmessung der Araber im Jahre 827 nach Chr. in der Nähe von Bagdad dürfte auf das Abendland wenig Einfluß gehabt haben. Hier gab erst im Jahre 1525 der französische Arzt Fernel mit seiner Gradmessung von Paris nach Amiens einen neuen Anstoß. Er hat die Distanz mit einem Wagenrad gemessen.

Bemerkenswert ist, daß im Zeitalter der Entdeckungen die Kenntnis von der Kugelgestalt der Erde eine wichtige Rolle spielte. Ich erinnere an Columbus, dem wir die Entdeckung Amerikas deshalb verdanken, weil er überzeugt war, daß wegen der Kugelgestalt der Erde Indien auch auf einem westlichen Kurs erreichbar sein müsse. Um diese Zeit entstanden auch eine Reihe von See- und Weltkarten, darunter auch die Karte von Mercator, deren Projektion heute noch in der Schifffahrt weltweit angewendet wird.

Die Hauptschwierigkeit bei den bisherigen Versuchen, die Größe der Erdkugel zu bestimmen, war das Unvermögen, große Entfernungen mit ausreichender Genauigkeit zu messen. Das Meßrad bedeutete zwar einen Fortschritt gegenüber der Schrittzählung, war aber nicht das richtige Werkzeug, mit den Geländeschwierigkeiten fertig zu werden. Diese Schwierigkeiten wurden durch die Einführung der Triangulation durch

den Holländer Willebrord Snellius überwunden. Nunmehr war es möglich, durch Messen der Winkel in einer Dreieckskette und Messen einer relativ kurzen Strecke in günstigem Gelände große Strecken mit bisher unerreichter Genauigkeit zu bestimmen. Diese neue Technik gab den Anstoß für eine größere Zahl von Gradmessungen im 17. und 18. Jahrhundert. Hier sind insbesondere die auf Initiative der französischen Akademie der Wissenschaften in Paris durchgeführten Gradmessungen hervorzuheben, die neben der Bestimmung der Größe der Erde auch die Herstellung einer genauen Karte von Frankreich zum Ziel hatten. Der 1669 bis 1670 von Picard gemessene Meridianbogen ist nach Perrier [2] „die erste wirklich ernstzunehmende Bestimmung der Dimensionen unserer Erde“. Der daraus abgeleitete Erdradius bestätigte Newton's Theorie von der gegenseitigen Anziehung von Erde und Mond.

Nach der Newton'schen Gravitationstheorie sollte die Erde keine Kugel, sondern ein an den Polen abgeplattetes Rotationsellipsoid sein. Diese Theorie stand zunächst in Widerspruch zu der von Cassinis aus dem verlängerten Picard'schen Meridianbogen abgeleiteten Feststellung, daß die Rotationsachse der Erde größer sei als der Äquatordurchmesser. Dieser Widerspruch zwischen Theorie und Praxis wurde durch die berühmten französischen Gradmessungsexpeditionen nach Peru und Lappland zugunsten der Newton'schen Theorie entschieden. Damit war auch experimentell bewiesen, daß die Erde an den Polen abgeplattet ist. Diese wichtige Bestätigung der Theorie hatte eine Reihe von Gradmessungen zur möglichst genauen Bestimmung der Meridianellipse zur Folge, auf die später noch kurz eingegangen wird.

Der gegen Ende des 18. Jahrhunderts während der französischen Revolution von Delambre und Méchain zwischen Barcelona und Dünkirchen gemessene Meridian von Paris verdient besonders hervorgehoben zu werden. Diese Messung diente zur Festlegung des Meters als fundamentale Längeneinheit, der als zehnmillionster Teil der Erdquadranten definiert wurde. Diese Definition war zwar nach unseren heutigen Begriffen denkbar ungeeignet für die Festlegung einer Maßeinheit, da sie praktisch nicht mit einem vertretbaren Aufwand und der erforderlichen Genauigkeit reproduzierbar war. Der Meter hat sich jedoch, wenn auch mit anderer Definition, als Längeneinheit weitgehend durchgesetzt und die verwirrende Fülle der früher gebräuchlichen Maßeinheiten abgelöst.

Nach der Einführung der Triangulation, der Entwicklung genauer Basismessapparate und der Verbesserung der Beobachtungsinstrumente wurden zahlreiche Gradmessungen durchgeführt, teils wie bisher in Meridianrichtung, teils in Parallelkreisrichtung. Bei diesen Längengradmessungen mußten vor der Erfindung von Telegraph und Radio astronomische Längendifferenzen durch Feuersignale bestimmt werden. Auch schiefe Gradmessungen wurden durchgeführt. Aus diesen Gradmessungen wurde unter Anwendung der von Carl Friedrich Gauß entwickelten Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate eine Reihe von Erdellipsoiden abgeleitet. Unter diesen möchte ich die Ellipsoide von Bessel und Clarke hervorheben, die in vielen Ländern, z. B. in Deutschland und Österreich bzw. in England und den USA, praktisch angewendet wurden. Sie lieferten nicht nur einen Beitrag zur Bestimmung der Größe und Form des Erdellipsoids, sondern bildeten auch die Grundlage für die Landesvermessung und die Herstellung von Karten und Plänen.

Besondere Bedeutung hat das von Hayford für das Triangulationsnetz der Vereinigten Staaten von Amerika nach der Flächenmethode abgeleitete Ellipsoid erlangt. Es wurde 1924 von der Generalversammlung der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik in Madrid als internationales Erdellipsoid angenommen. Diese Konvention hat sich als überaus segensreich erwiesen, obwohl die Abstimmung zugunsten des Hayford-Ellipsoids mit hauchdünner Mehrheit erfolgte und uns heute genauere Ellipsoiddimensionen zur Verfügung stehen. So beziehen sich z. B. die

Flugkartenwerke weltweit einheitlich auf das internationale Erdellipsoid. Würden sie sich wie die nationalen Kartenwerke auf die nationalen Referenzellipsoide abstützen, würde die Genauigkeit moderner Navigationsverfahren an den Ellipsoidübergängen merklich gestört werden.

Zur bestmöglichen Bestimmung des Erdellipsoids mit Hilfe von Gradmessungen war eine internationale Zusammenarbeit unerlässlich. Dies führte zum Zusammenschluß der meisten Kulturstaaten zur „Internationalen Erdmessung“. Der Initiator war Generalleutnant Baeyer. Auf seine Veranlassung lud Preußen 1862 Bevollmächtigte von Preußen, Sachsen und Österreich zu einer ersten Beratung über den Zusammenschluß der in diesen Ländern vorhandenen Dreiecksketten zu einer mitteleuropäischen Gradmessung nach Berlin ein. Die Idee fiel auf fruchtbaren Boden. Sie führte zur Gründung des Preußischen Geodätischen Instituts in Potsdam und zur Einrichtung eines Zentralbüros der inzwischen zur „Europäischen Gradmessung“ erweiterten Vereinigung. Hieraus ging 1886 die „Internationale Erdmessung“ hervor, der vor Beginn des zweiten Weltkriegs 17 europäische und 4 amerikanische Staaten sowie Australien und Japan angehörten. Nach dem ersten Weltkrieg ist aus dieser Vereinigung die Internationale Assoziation für Geodäsie innerhalb der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik hervorgegangen.

Zu den wichtigsten Zielsetzungen der internationalen Erdmessung gehörte die Bestimmung eines mittleren, für die ganze Erde gültigen und eindeutig gelagerten Erdellipsoids und der Zusammenschluß der nationalen Triangulationsnetze zu einem weltweit einheitlichen Bezugssystem. Der Zusammenschluß der Netze ist unerlässlich, wenn der Übergang von einem Bezugssystem zu einem anderen ohne Genauigkeitsverlust erfolgen soll. Als praktisches Beispiel für den Zusammenschluß kontinentaler Netze sei das europäische UTM-System genannt. Die militärischen Karten aller europäischen Staaten, mit Ausnahme der Ostblockstaaten, beziehen sich auf das Europäische Dreiecksnetz 1950, das auf dem Hayford-Ellipsoid ausgebreitet ist. Auch die militärischen und zivilen Funknavigationshilfen dieser Länder sind in diesem Bezugssystem koordiniert. Die Vorteile des einheitlichen Bezugssystems konnten wir bei der Flugerprobung unseres integrierten Navigationsverfahrens wiederholt feststellen.

Der Zusammenschluß der kontinentalen Netze über die Ozeane hinweg bereitete jedoch zunächst unüberwindliche Schwierigkeiten. Man hoffte jedoch mit Hilfe von Schweremessungen weiterzukommen, zumal die theoretischen Grundlagen für ihre geodätische Anwendung bereits weitgehend erforscht waren. Clairaut hatte schon 1743 gezeigt, daß die Abplattung der Erde mit Hilfe von Schweremessungen bestimmt werden kann. Stokes hat seine berühmte Formel zur Ermittlung des Geoids aus Schweremessungen 1849 veröffentlicht, also zu einer Zeit, in der an eine praktische Anwendung noch nicht zu denken war. Erst etwa 100 Jahre später war die Technik der Schweremessungen so weit fortgeschritten, daß die von Stokes geforderte weltweite Kenntnis der Schwere nicht mehr völlig utopisch war, insbesondere nachdem die Schwere auch auf See gemessen werden konnte. Die Bestimmung von absoluten, auf ein mittleres Erdellipsoid bezogenen Lotabweichungen aus Schweremessungen nach dem von Vening Meinesz 1928 angegebenen Verfahren hing also im wesentlichen von der weltweiten Verdichtung der Schweremessungen ab. Konnte diese Voraussetzung erfüllt werden, dann könnten die relativen Lotabweichungen in den nationalen Vermessungssystemen auf absolute Lotabweichungen reduziert werden, wodurch ein Zusammenschluß der Netze möglich würde. Dieses Verfahren hätte vermutlich viele Generationen beschäftigt.

Wenn auch die heute verfügbaren terrestrischen Schweremessungen für einen zufriedenstellenden Zusammenschluß der Kontinentalnetze nicht ausreichen, so sind

sie doch für die Geophysik für das Studium der Massenverteilung der Erde, z. B. für die Überprüfung der Isostasie äußerst wichtig. Schweremessungen sind auch notwendig für moderne Präzisionsnivellements zur Erfassung des theoretischen Schleifen-schlußfehlers oder zur Bestimmung geopotentieller Koten. Besonders bedeutungsvoll ist die Entwicklung eines absoluten Schweremessers, mit dem zeitliche Änderungen der Schwere mit einer Genauigkeit von einigen Mikrogal gemessen werden können.

Fassen wir den Stand der Erdmessung bis zur Mitte der fünfziger Jahre unseres Jahrhunderts zusammen. Wir verfügen über eine große Zahl von Erdellipsoiden, von denen das Hayford-Ellipsoid als Internationales Erdellipsoid erklärt wurde. Alle diese Ellipsoide sind für das Land, in welchem sie angewendet werden, sog. bestanschließende Referenzellipsoide, deren Achsen genähert parallel zur mittleren Erdachse sind, deren Mittelpunkte jedoch bis zu einigen hundert Metern vom Schwerpunkt der Erde abweichen. Die Referenzellipsoide passen also nicht zusammen. Die Folge ist, daß an den Nahtstellen zweier Vermessungssysteme große Klaffungen auftreten können. Die Referenzellipsoide und die darauf bezogenen Festpunktskoordinaten sind jedoch in der Regel für die nationalen Landes- und Katastervermessungen und die amtlichen Kartenwerke ausreichend. Auf dem Festland können benachbarte Vermessungssysteme durch eine gemeinsame Ausgleichung zu einem einheitlichen Bezugssystem zusammengeschlossen werden. Als Beispiel sei das Europäische Dreiecksnetz genannt, das, wie bereits erwähnt, die Grundlage für die UTM-Koordinaten der westeuropäischen Länder bildet. Ein weltweiter Zusammenschluß über die Ozeane hinweg war jedoch Mitte der fünfziger Jahre noch nicht realisierbar.

Auch die Höhensysteme sind meist von Land zu Land verschieden. Nominell bestimmt jedes Land Meereshöhen. Die Festlegung des Meeresniveaus ist jedoch nicht einheitlich. Die Höhenbezugsflächen verschiedener Länder können um einen Meter und mehr voneinander abweichen. Auch die Definition der Höhen ist nicht einheitlich. Strenge orthometrische Meereshöhen werden nirgends verwendet. Die für genaue Höhenbestimmungen durch Nivellements erforderlichen Schweremessungen werden nur in wenigen Ländern durchgeführt. Die Vielzahl der Höhensysteme läßt sich für aneinandergrenzende Länder durch Zusammenschluß reduzieren, was z. B. beim Europäischen Nivellementsnetz demonstriert wurde, wodurch u. a. die Pegelstände der angrenzenden Meere miteinander verglichen werden konnten.

Für die streng dreidimensionale Festlegung von Punkten sind die Meereshöhen wenig geeignet, da sie sich auf eine genähert mit dem Geoid zusammenfallende Niveaulfläche beziehen, deren Abstände vom Referenzellipsoid für die Lagemessungen noch vor zwanzig Jahren nur auf etwa 10 Meter genau bekannt waren.

Die in den sechziger Jahren aufkommende Satellitengeodäsie brachte die Erdmessung in den letzten 20 Jahren weiter als in den vergangenen 2000 Jahren. Der National Geodetic Survey der USA schuf unter der Leitung von Helmut Schmid das Satelliten-Weltnetz. Bei diesem Netz wurden aus photogrammetrischen Richtungsmessungen zu einem Ballon-Satelliten gegen den Sternhintergrund die geozentrischen Koordinaten von 45 weltweit verteilten Punkten mit einer Genauigkeit von etwa 5 Meter bestimmt. Damit war die Grundlage für den Zusammenschluß der verschiedenen Vermessungssysteme zu einem einheitlichen Weltnetz in wenigen Jahren geschaffen worden. Eines der wichtigsten Ziele der internationalen Erdmessung war damit erreicht. Ohne die Satellitengeodäsie hätte diese Aufgabe sicher noch Generationen von Geodäten beschäftigt.

Die Schaffung eines einheitlichen genauen Weltnetzes, bisher hauptsächlich durch den Hang der Geodäten zum Perfektionismus motiviert, war durch die Raumfahrt dringend notwendig geworden. So erfordert z. B. die Vermessung der Bahn eines Satelliten eine Reihe von weltweit verteilten Beobachtungsstationen, deren

räumliche Positionen sehr genau bekannt sein müssen. Auch für die genaue Kenntnis des Schwerefeldes der Erde lag nun ein echtes Bedürfnis vor, da die Bahnen der Satelliten durch die Unregelmäßigkeiten des Schwerefeldes wesentlich beeinflusst wurden. Auch diese Forderung konnte mit Hilfe der Satellitenbeobachtungen erfüllt werden. Die dynamische Satellitengeodäsie ermöglichte es, die Koeffizienten der Kugelfunktionsentwicklung des Schwerepotentials mit einer Genauigkeit und bis zu einem Grad zu bestimmen, die bisher nicht erreichbar waren.

Die Satelliten ermöglichten nicht nur, die Fernziele der internationalen Erdmessung innerhalb weniger Jahre zu erreichen. Sie erschlossen auch neue Möglichkeiten der Navigation. Schon in den Anfängen der Satellitentechnik wurde zielstrebig der Plan verfolgt, für die Polaris-Unterseeboote der US-Navy ein weltweites und genaues Ortungsverfahren zu schaffen. Dies führte zur Entwicklung des Transit-Navigationssystems, das heute als Navy Navigation Satellite System (NNSS) bezeichnet wird. Dieses Navigationssystem, bei dem durch Abzählen der Dopplerfrequenz des vom Satelliten ausgestrahlten Signals weltweit der momentane Standort mit einer Genauigkeit von etwa 100 m bestimmt werden kann, ist ein autarkes, völlig neuartiges Vermessungs- und Navigationssystem. Aus den Dopplerbeobachtungen konnten die räumlichen Koordinaten der Bahnvermessungsstationen, die Koeffizienten des Gravitationsfeldes, die Daten für die Bahnvorhersage und schließlich der Standort von Schiffen ermittelt werden. Nach der Freigabe für den zivilen Gebrauch wurde es nicht nur für die Navigation, sondern sehr bald auch für Vermessungszwecke eingesetzt. Hier kann man durch die Beobachtung von 40–50 Durchgängen und den sogenannten Broadcast-Ephemerides eine Ortungsgenauigkeit von etwa 5 m und mit den „Precise Ephemerides“ oder durch die gleichzeitige Beobachtung von verschiedenen Punkten aus und Anwendung des Translokationsverfahrens eine Genauigkeit von 1 Meter erreichen. Damit verfügen wir über ein außerordentlich leistungsfähiges globales Vermessungswerkzeug für die Bestimmung von Festpunkten in nicht oder unzureichend vermessenen Gebieten und für die Kontrolle und Verbesserung bestehender Vermessungsnetze. So konnte z. B. zu Anfang dieses Jahres von der BRD im Rahmen der Entwicklungshilfe innerhalb weniger Wochen das Rahmennetz für die Vermessung der Elfenbeinküste mit Hilfe von Dopplerbeobachtungen geschaffen werden. Als praktische Nutzenanwendung seien noch erwähnt die Einmessung von Bohrinseln, die Ortung von Vermessungsschiffen und die Festlegung von Seerechtsgrenzen. Schließlich möchte ich noch darauf hinweisen, daß die so erfolgreichen Tiefseebohrungen der Glomar Challenger voraussetzten, daß das Schiff während der Dauer einer Bohrung praktisch an der selben Stelle gehalten werden konnte. Diese Forderung konnte durch eine Kombination von Transit mit einem Inertialnavigationssystem auf 30 m genau erfüllt werden.

Das Transit-Navigationssystem wird in einigen Jahren durch das noch genauere und vielseitigere Navstar Global Positioning System (GPS) abgelöst werden. Die Triebfeder für die Entwicklung dieses revolutionierenden neuen Navigationssystems ist wieder die militärische Anwendung. Die bisherigen Erprobungsergebnisse mit 4 Satelliten lassen nach dem Endausbau auf 18 Satelliten weltweit eine Genauigkeit von 10 m erwarten. Das GPS liefert laufend die Standortkoordinaten von Schiffen, Flugzeugen und Landfahrzeugen. Es sind sogar schon tragbare Geräte für Infanteristen in Entwicklung. Die hohe Navigationsgenauigkeit von 10 m wird zunächst nur den Militärs zur Verfügung stehen. Die zivilen Anwender müssen sich, da für sie der Präzisions-Code nicht zugänglich ist, mit einer Navigationsgenauigkeit von etwa 100 m begnügen. Auch das ist ein gewaltiger Fortschritt, wenn man berücksichtigt, daß die Standortinformation kontinuierlich und nicht wie bei Transit nur etwa alle 2 Stunden geliefert wird.

Für die geodätische Anwendung sind bereits Verfahren geplant, die mit und ohne Kenntnis des Präzisions-Codes bei etwa 2 Stunden Beobachtungszeit eine Punktbestimmung mit Zentimetergenauigkeit erwarten lassen. Besonders aussichtsreich erscheint hier die Anwendung des Interferometerprinzips, das bereits bei der Very Long Base Line Interferometrie (VLBI) mit Erfolg eingesetzt wird. Damit wird der Geodäsie sowohl für die Erdmessung als auch für die Landesvermessung ein Instrumentarium zur Verfügung stehen, das alle bisherigen weiträumigen Meßverfahren an Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit übertrifft. Es ist zu erwarten, daß in naher Zukunft die Netze 1. Ordnung mit dem GPS dreidimensional in einem weltweiten einheitlichen Bezugssystem vermessen werden.

Nachdem uns die Satellitengeodäsie in wenigen Jahren die Möglichkeit erschlossen hat, die Erde und ihr Gravitationsfeld als Ganzes zu vermessen, ist der Übergang von der statischen zur dynamischen Erdmessung naheliegend. Hierzu gehört die meßtechnische Erfassung der Plattentektonik, der vertikalen Krustenbewegungen, der Polwanderungen, der Rotationsschwankungen, der Richtungsänderungen der Erdachse und der zeitlichen Änderung des Gravitationsfeldes. Die meßtechnischen Voraussetzungen können voraussichtlich erfüllt werden, da mit dem GPS, den Laser-Entfernungsmessungen zu Satelliten und zum Mond und der Very Long Base Line Interferometrie der Vorstoß in den Zentimeterbereich zu erwarten ist oder bereits erreicht wurde. Schwieriger erscheint mir die Schaffung eines erdfesten und raumfesten Bezugssystems zur Erfassung der sehr kleinen geodynamischen Änderungen. Da die Bewegungsvorgänge der Erde, wenn wir von Erdbeben absehen, sehr langsam verlaufen – die relative Plattenverschiebung beträgt z. B. nur wenige Zentimeter pro Jahr –, liegt ihre meßtechnische Erfassung an der Grenze der heute erreichbaren Meßgenauigkeit. Ein Erfolg ist deshalb nur dann zu erwarten, wenn in möglichst vielen Ländern Fundamentalstationen für Geodynamik eingerichtet werden, die mit einem entsprechenden Instrumentarium ausgestattet sind. Diese Forderung – von Karl Rinner schon seit einigen Jahren mit Nachdruck erhoben – muß erfüllt werden, da die laufend durchzuführenden Beobachtungen und Auswertungen nur mit ständigem und entsprechend ausgebildetem Personal zu bewältigen sind. Derartige Fundamentalstationen sind teilweise schon vorhanden oder im Aufbau, z. B. das Institut für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Graz und die Satellitenbeobachtungsstation Wettzell in Deutschland.

Die Fundamentalstationen werden ein terrestrisches Bezugssystem festlegen, das allerdings nicht starr, sondern zeitlich nach Lage und Höhe veränderlich ist. Sie dienen zur Bestimmung der durch die Plattentektonik bedingten großräumigen Lageänderungen der geodätischen Netze sowie zur Herstellung der Verbindung mit den astronomischen Bezugssystemen.

Die geodynamische Zielsetzung wird für die Geophysik neue Erkenntnisse liefern. Schon allein die meßtechnische Erfassung der derzeitigen Krustenbewegungen wird die Theorie der Plattentektonik befruchten. Es wird möglich sein, großräumige Bewegungen, z. B. Landsenkungen oder Landhebungen für längere Zeiträume vorherzusagen. Es besteht auch die Hoffnung, daß Erd- und Seebeben vorhergesagt werden können. Mit Sicherheit wird die Erfassung des Schwerfeldes der Erde verfeinert werden, was für eine genauere Vorhersage der Satellitenbahnen und die Bestimmung der Feinstruktur des Geoids wesentliche Voraussetzung ist.

Damit wird auch das Höhenproblem einer Lösung nähergebracht. Durch die Addition der Geoidundulationen zu den durch Nivellements bestimmten Höhen können genäherte ellipsoidische Höhen ermittelt werden, deren Genauigkeit im Flachland und Mittelgebirge für die Reduktion elektrischer Distanzmessungen auf das Erdellipsoid in der Regel ausreichen wird. Für die genaue dreidimensionale Vermes-

sung der Erde, die z. B. für die Satellitengeodäsie und für die Erfassung großräumiger Höhenänderungen unerlässlich ist, brauchen wir eine streng dreidimensionale Punktfestlegung entweder nach geozentrischen Koordinaten oder nach dreidimensionalen ellipsoidischen Koordinaten, also nach ellipsoidischer Breite, Länge und Höhe. Die Voraussetzungen für die dreidimensionale Geodäsie sind heute gegeben. Neben den Satellitenverfahren stehen uns auch terrestrisch-astronomische und terrestrisch-gravimetrische Verfahren zur Verfügung.

Auch in der Meeresgeodäsie sind große Fortschritte zu erwarten. Nachdem es bereits gelungen ist, die Topographie der Meeresoberfläche mit Hilfe der Satellitenaltimetrie weltweit zu bestimmen, wird durch die zu erwartende Steigerung der Genauigkeit der dynamischen Satellitengeodäsie auch das Geoid in naher Zukunft auf wenige Dezimeter genau bekannt sein. Aus den Abständen der Meeresoberfläche vom Geoid kann dann der Ozeanograph neue Erkenntnisse über die Dynamik der Meeresströmungen gewinnen. Von besonderem praktischem Wert wird die Steigerung der Ortungsgenauigkeit auf den Meeren sein. Vermessungsschiffe werden durch die automatische Integration von GPS mit einem Trägheitsnavigationssystem in der Lage sein, ihren Standort laufend auf wenige Meter genau zu bestimmen. Damit werden auch die Genauigkeitsforderungen der Festlegung von Seerechtsgrenzen, die bei der kommenden Ausbeutung der Bodenschätze der Meere von besonderer Bedeutung sein wird, sicher erfüllt werden können.

Zusammenfassend können wir feststellen, daß die Erdmessung nach primitiven Anfängen zur Bestimmung der Größe der Erdkugel erst nach der Erfindung der Triangulation im 17. Jahrhundert und nach dem Übergang von der Erdkugel zum Erdellipsoid ein Stadium erreicht hat, das einigermaßen unseren heutigen Vorstellungen gerecht wird. Aus zahlreichen Gradmessungen wurden eine Reihe von Erdellipsoiden abgeleitet, von denen das Hayford'sche zum Internationalen Erdellipsoid erklärt wurde.

Im 19. Jahrhundert wurden die meisten nationalen Dreiecksnetze gemessen. Sie waren für die nationalen Landesvermessungen, insbesondere für die Katastervermessung, durchaus brauchbar, an den Ländergrenzen traten jedoch große Klaffungen auf, da die Referenzellipsoide unterschiedlich orientiert und zum Teil auch unterschiedlich dimensioniert waren. Durch den Zusammenschluß der meisten Kulturstaaten zur Internationalen Erdmessung versuchte man diesen Mangel zu beheben. Hier bereitete jedoch die Überbrückung der Ozeane zunächst unüberwindliche Schwierigkeiten. Man hoffte allerdings durch eine weltweite Verdichtung der Schweremessungen die Verbindung doch noch zu erreichen.

Durch die Satellitengeodäsie hat sich die Erdmessung explosionsartig entwickelt. In wenigen Jahren wurde ein Weltnetz geschaffen und die Kenntnis des Schwerfeldes wesentlich erweitert. Das Weltnetz und die genaue Kenntnis des Schwerfeldes sind notwendige Voraussetzung für die Navigation mit Satelliten. Die in Zukunft zu lösenden dynamischen Aufgaben der Erdmessung bewegen sich am Rande der heute erreichbaren Meßgenauigkeit. Sie sind für die junge Generation der Geodäten eine Herausforderung. Ich bin sicher, daß sie trotz der teilweise extremen Schwierigkeiten diese neuen Aufgaben mit Erfolg lösen werden und bedaure, daß ich selbst nicht mehr aktiv mitmachen kann.

Literatur

[1] Schwarz, K. P.: Zur Erdmessung des Eratosthenes; Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, 1975, S. 1.

[2] Perrier, Georges: Kurze Geschichte der Geodäsie. Wie der Mensch die Erde gemessen und gewogen hat. Deutsche Übersetzung von Erwin Gigas. Veröffentlichungen des Instituts für Erdmessung Nr. 2, Bamberg 1950.