

AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN DER DDR
Forschungsbereich Geo- und Kosmoswissenschaften
ZENTRALINSTITUT FÜR PHYSIK DER ERDE

Veröffentlichungen des Zentralinstituts für Physik der Erde
Nr. 100

15. Helmert-Kolloquium

**im Zeichen der Würdigung des 250. Jahrestages
der Gradmessung in Lappland
und des 125. Jahrestages der Vorkonferenz
für die Mitteleuropäische Gradmessung**

Herausgeber:

Der Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde Potsdam

Als Manuskript gedruckt Potsdam 1989

Das Zentralinstitut für Physik der Erde
der Akademie der Wissenschaften der DDR
veranstaltete am 29. April 1987 in Potsdam

das 15. Helmert-Kolloquium
im Zeichen der Würdigung des 250. Jahrestages
der Gradmessung in Lappland
und des 125. Jahrestages der Vorkonferenz
für die Mitteleuropäische Gradmessung

<u>Vortragsfolge</u>	Seite
H. Kautzleben : Begrüßung	2
H. Stiller : Grußworte des Präsidiums der AdW der DDR	5
T. J. Kukkamäki : The Shape of the Earth and de Maupertuis	8
H. Kautzleben : Von der mitteleuropäischen Gradmessung zur globalen Geodäsie - Beiträge des Geodätischen Instituts Berlin/Potsdam	15
H. Peschel : Sachsens Beitrag zur Mitteleuropäischen Gradmessung unter Nagel	33
K. Rinner : Bericht über die Tätigkeit der Österreichischen Kommission für die Internationale Gradmessung (ÖKIE)	40
H. Moritz : Baeyers "Entwurf zu einer Mitteleuropäischen Gradmessung" und die heutige Geodäsie	56

Verehrte Gäste, liebe Kolleginnen und Kollegen,
liebe Genossen!

Das Zentralinstitut für Physik der Erde veranstaltet seit 1973 alljährlich ein besonderes Kolloquium, das dem langjährigen Direktor des Geodätischen Instituts Potsdam, Friedrich Robert Helmert, gewidmet ist und allen Mitarbeitern des Zentralinstituts Anreize bieten soll, aus der Tradition des Geodätischen Instituts Potsdam neue Kräfte für neue wissenschaftliche Leistungen zu erschließen.

Das 15. Kolloquium wird mit Unterstützung der Klasse Geo- und Kosmoswissenschaften der Akademie der Wissenschaften der DDR durchgeführt.

Es steht im Zeichen der Würdigung des 250. Jahrestages der Gradmessung in Lappland, die unter Leitung des späteren Präsidenten unserer Akademie, Maupertius, durchgeführt wurde, und des 125. Jahrestages der Konferenz zur Einleitung der Arbeiten für die Mitteleuropäische Gradmessung unter Leitung von Johann Jacob Baeyer, der in Verbindung damit das Geodätische Institut Potsdam gegründet hat.

Ich habe die Ehre, Sie alle, zugleich im Namen von Akademiemitglied Böhme als Vorsitzendem der Klasse, zu dieser Veranstaltung sehr herzlich zu begrüßen.

Ich begrüße sehr herzlich den Vizepräsidenten unserer Akademie, Akademiemitglied H. Stiller.

Wir heißen sehr herzlich willkommen den Sekretär der Bezirksleitung Potsdam der SED, Genossen Dr. J. Engelhardt. Dank für ständiges Interesse und Unterstützung durch die Bezirksleitung, den Rat des Bezirkes und den Rat der Stadt für unsere Arbeit.

Als Vertreter des Oberbürgermeisters nimmt teil das Mitglied des Rates der Stadt, Obermedizinalrat Dr. H. Suß.

Ich begrüße sehr herzlich

den amtierenden Leiter der Verwaltung Vermessungs- und Kartenwesen, Genossen Dipl.-Ing. Albert, und den Leiter des Militärtopographischen Dienstes, Generalmajor Dipl.-Ing. Beaujean,

und alle weiteren Direktoren und Mitarbeiter aus den Betrieben und Institutionen der geodätischen Praxis unseres Landes.

Wir heißen sehr herzlich willkommen

die anwesenden Akademiemitglieder, die Kollegen aus den Akademieinstituten, den Hochschulen und weiteren Einrichtungen.

Es ist uns eine ganz besondere Freude, daß wir zu unserem Kolloquium ausländische Gäste, liebe Freunde aus anderen Akademien, führende Vertreter der Internationalen Assoziation für Geodäsie begrüßen können.

Wir heißen herzlich willkommen die drei Ehrenpräsidenten der Internationalen Assoziation für Geodäsie

J.D. Boulanger, Mitglied der Akademie der Wissenschaften der Sowjetunion, Begründer und Vorsitzender der Kommission der Akademien der Wissenschaften der sozialistischen Länder für planetare Geophysik (KAPG)

T.J. Kukkamäki, Mitglied der Finnischen Akademie der Wissenschaften

H. Moritz, Mitglied der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und Auswärtiges Mitglied unserer Akademie der Wissenschaften.

Wir begrüßen den Vizepräsidenten der Internationalen Assoziation für Geodäsie

Milan Burša, Mitglied der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften.

Wir freuen uns, daß wir in unserer Mitte sehr herzlich begrüßen können

Karl Rinner, Mitglied der Österreichischen Akademie der Wissenschaften; Vorsitzender der Österreichischen Kommission für die Internationale Erdmessung.

Und last but not least möchte ich besonders herzlich bei uns begrüßen

den langjährigen Direktor unseres Geodätischen Instituts Potsdam, ständigen aktiven Förderer und persönlichen Freund, **Prof. H. Peschel**.

Seien Sie alle nochmals herzlich willkommen!

Heinz Kautzleben

Sehr verehrte Gäste, liebe Kolleginnen und Kollegen!

Gestatten Sie mir bitte, Ihnen allen die besten Grüße des Präsidiums und der Klasse Geo- und Kosmoswissenschaften der Akademie der Wissenschaften der DDR zu übermitteln und dem heutigen 15. Helmert-Kolloquium hohes wissenschaftliches Niveau und erfolgreichen Verlauf zu wünschen.

Das veranstaltende Zentralinstitut für Physik der Erde hat sein diesjähriges Kolloquium, das den Namen eines der bedeutendsten Direktoren in der Geschichte des Institutes - Friedrich Robert Helmert - trägt, der Würdigung des 250. Jahrestages der Gradmessung in Lappland und des 125. Jahrestages der Vorkonferenz zur Einleitung der Arbeiten für die Mitteleuropäische Gradmessung gewidmet.

Beide Ereignisse besitzen für die internationale und nationale Entwicklung der Geowissenschaften herausragende Bedeutung. Die Akademie der Wissenschaften der DDR unterstützt deshalb die heutige Veranstaltung ausdrücklich und sieht in ihr einen Beitrag zur Pflege fortschrittlicher Traditionen, die den völkerverbindenden Geist wissenschaftlicher Forschungen und die Leistungsfähigkeit der internationalen Zusammenarbeit überzeugend demonstrieren.

Es ist für uns Freude und Ehre zugleich, daß Sie, verehrte Gäste, der Einladung der Akademie der Wissenschaften Folge leisteten und sich bereit erklärten, durch Ihre Vorträge und Teilnahme unserer Veranstaltung einen würdigen internationalen Rahmen zu geben.

Die Teilnahme vieler führender Vertreter von Forschung, Lehre und Praxis der Geodäsie der DDR zeigt das große Interesse an der Thematik des heutigen Kolloquiums.

Wir würdigen heute, speziell mit dem Vortrag von Prof. Kukkamäki, die Gradmessung in Lappland, die unter Leitung von Maupertuis, dem späteren Präsidenten der Berliner Akademie, stand. Diese Gradmes-

sung und die in Peru durchgeführte erbrachten den meßtechnischen Nachweis für die Richtigkeit der Newtonschen Gravitationstheorie und für die an den Polen abgeplattete Erdfigur.

Die Vorkonferenz zur Mitteleuropäischen Gradmessung, die vor 125 Jahren in Berlin stattfand, wird als Gründungsdatum der Internationalen Assoziation für Geodäsie betrachtet, einer nichtstaatlichen wissenschaftlichen Organisation, deren Tätigkeit in der Akademie der Wissenschaften der DDR hohe Wertschätzung genießt und an deren Arbeit DDR-Wissenschaftler aktiv beteiligt sind.

Johann Jacob Baeyer, dessen Initiative das wissenschaftliche Programm und die organisatorische Durchführung zu verdanken sind, gilt als erster Präsident der Internationalen Assoziation für Geodäsie. An der wissenschaftlich und praktisch gleichermaßen anspruchsvollen Aufgabe, auf Teilen des europäischen Kontinents koordinierte geodätische Forschungsarbeiten durchzuführen, waren anfangs nur Preussen, Sachsen und Österreich beteiligt. Über den Anteil dieser Staaten und über die Fortführung der Arbeiten wird in den Vorträgen der Professoren Kautzleben, Peschel und Rinner berichtet. Das Programm fand mehr und mehr Interessenten und aktive Teilnehmerstaaten und entwickelte sich schließlich zur Internationalen Erdmessung.

Mitteleuropäische Gradmessung, Internationale Erdmessung und alle damit in Verbindung stehenden Aktivitäten hatten wesentlichen Einfluß auf die Entstehung und Entwicklung des Geodätischen Institutes. Dieses Institut, dessen erster Präsident Johann Jacob Baeyer war, wurde 1870 in Berlin gegründet, fand 1892 seinen heutigen Sitz in Potsdam und ging 1969 in das damals neugegründete Zentralinstitut für Physik der Erde auf.

Prof. Kautzleben wird in seinem Vortrag auf diese Entwicklung eingehen.

Das Zentralinstitut hat sich seit seiner Bildung zu einer modernen Forschungsstätte mit breit gefächertem geowissenschaftlichem Profil entwickelt und auf verschiedenen Fachgebieten internationale Anerkennung gefunden.

Ausdruck dafür sind unter anderem die wissenschaftlich anspruchs-

vollen Symposien und Kolloquien, an denen sich stets eine hohe Zahl international und national geschätzter Wissenschaftler und Praktiker beteiligt.

Im letzten Fachvortrag stellt das Auswärtige Mitglied der Akademie der Wissenschaften der DDR, Prof. Moritz, die Verbindung zwischen dem Gedankengut Baeyers und der modernen Geodäsie her. Er wird sicher dazu beitragen, unsere Positionen am internationalen Spitzenniveau zu messen und entsprechende Schlußfolgerungen abzuleiten.

Ich bin der festen Überzeugung, daß das heutige Kolloquium einen würdigen Beitrag zur internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit leisten wird und wünsche Ihnen allen eine eindrucksvolle Veranstaltung mit möglichst vielen verwertbaren Hinweisen für Ihre eigene Arbeit.

Heinz Stiller

The Shape of the Earth and de Maupertuis

T.J. Kukkamäki, Helsinki

We all know that the civilized part of mankind three hundred years ago thought that the Earth is a sphere, something like a billiard ball. But then, in 1672, the Frenchman Richer was observing the transit of Mars across the Sun's disc at Cayenne in South America, five degrees north of the equator. He experienced that his second pendulum, which in Paris had worked excellently, now lost 2 1/2 minutes in 24 hours. That was too much, and Richer was not able to find any technical fault in the machinery. The same incomprehensible phenomenon appeared in other pendulum clocks too, as soon as they were moved from Paris to places nearer to the equator.

In those times, 1687, Newton published his Principia, where he presented the theory, according to which the rotating Earth, because of the centrifugal force, cannot be a sphere but an ellipsoid, flattened at the poles. He was not able to prove this supposition strictly mathematically, but he computed the amount of this flattening, as to be 1/230. Further, he showed that the gravity is smallest at the equator and increases according to the square of sine of the latitude when we move toward the pole. This theory was able to explain the losing of Richer's clock.

At the same time, around 1700, a careful triangulation was carried out through France, from the Channel to Spain. This measurement was led by two Cassinis, father and son. When the Earth's radius was computed, separately from the section north of Paris and then from the section south of Paris, the values 56 960 toise and 57 097 toise were obtained. This meant that the Earth is not flattened at the poles, but, on the contrary, elongated from the poles. These two opposite results, Newton's and the Cassinis', caused a heated dispute, not only in the scientific commune, but in the whole educated society of Europe.

A good indication of this is a satiric passage from Jonathan Swift's "Gulliver's travels". In Lilliput there were two political parties. Their policies were similar with one exception. The members of one party cut the egg at the blunt end while the members of the other party cut it at the sharp end. They were not able to settle the dispute, and some members of the blunt party moved into the neighbouring island country Blefuscu, and caused war between Lilliput and Blefuscu, which was settled by the aid of Gulliver.

Under these circumstances, a member of the French Royal Academy of Sciences, Pierre-Louis Moreau de Maupertuis, published in 1733 an investigation "Sur la Figure de la Terre et sur les moyens que l'astronomie et la géographie fournissent pour la déterminer". Here Maupertuis joined the ideas of Newton, whom he had met when he stayed in London some years earlier. One other Academy member, Godin, supported Maupertuis. These scientists said that the triangulation sections, from which Cassini had computed those two values of the Earth's radius were too close to each other, and therefore the difference to be expected was too small to be detected with an accuracy that was possible to obtain at that time. They suggested that one triangulation should be performed close to the equator and the other as far in the North as it was practical. Their proposals were accepted. One expedition, led by Godin, was sent to Peru in 1735 and the other one, led by Maupertuis, to Lapland in 1736.

The area in Peru, where that expedition worked, belongs now to Ecuador. The Tornio valley, where the Lapland expedition carried out its observations, is somewhat south of actual Lapland. But due to tradition the expeditions are still called the Peru expedition and the Lapland expedition.

The adventures of the Peru expedition were very complicated and difficult, while the travel and the work in Lapland went quickly and smoothly. As a Finn, I know better the events in Lapland, and as Maupertuis was for ten years a rather important and influen-

tial person here in Potsdam, I may tell more about Lapland than about Peru.

Maupertuis's expedition left Paris on April 20, 1736. After smooth sailing they stopped for some days in Stockholm, where they were received by the King of Sweden, Frederik. The King said that, in spite of the fact that he had taken part in several battles, he would not like to go to the area where the Frenchman intended to go. For their safety he gave them a rifle.

The expedition arrived in Tornio town in midsummer. They started immediately the reconnaissance and angle observations. The chain of nine triangles was 107 km long, reaching from Tornio along the Tornio River Valley to Kittisvaara in Pello. The angles were observed with a two foot quadrant. Maupertuis donated this instrument to the Preussische Akademie der Wissenschaften zu Berlin in 1745 and it is kept here in Babelsberg Observatory. The observing of the whole triangle chain was completed on the 5th of September.

For the latitude difference the altitude of star delta Draconis was observed with a nine foot sector, first at Kittisvaara and then in Tornio. These observations were completed on the 17th of November.

The 14.4 km long baseline was placed in the middle part of the chain. The measurement was carried out by two different parties separately, using five toise long wooden rods. The results of these parties agreed with four inches. The circumstances during this measurement, on December 21-30, were difficult, as the temperature fell as low as -46°C . When academician le Monnier tried to refresh himself with cognac from a silver cup, his tongue froze to the cup so as to tear off the skin. A plastic cup would have been better.

The whole work had passed surprisingly fast, it took only six months.

The whole party remained still in Tornio for the winter. There they completed all computations. As the result showed larger flattening than expected, they renewed the astronomical observations, now on the star alpha Draconis. Both determinations agreed, however, well and they accepted the arithmetical mean of these two values. Further, they determined the length of the second pendulum in Tornio.

The expedition returned after rather convenient sailing to Paris on the 20th of August. Already in the following November Maupertuis presented his final report, printed as "La Figure de la Terre", to the Academy. The length of the degree of the arc according to Maupertuis was 604 m longer than the Cassini's value at the latitude of Paris. This all was an indisputable proof of the flattening of the Earth, as Newton had claimed. Newton himself was no longer there to enjoy his glorious victory, as he had died ten years earlier.

The Lapland measurement was completed in a short time and without great difficulties. On the contrary, the Peru expedition experienced all kinds of difficulties. Already the travelling of the expedition members to the area was very hard and the circumstances there were more than difficult. Even the physician of the party was killed by a native, because of jealousy. The members quarrelled and the whole expedition soon divided into two parts, which carried out their own measurements separately. The original leader, Godin, moved to the service of the King of Spain. In spite of all these difficulties, the measurement was completed in 1743. The members of the expedition returned to France, Bouguer as the first in 1744, and the last one in 1771. La Condamine, who had become the leader after Godin, gave his report to the Academy in 1744, seven years and one day after Maupertuis.

Later the suspicions arose, that Maupertuis's measurement was affected by some errors. Notwithstanding this, Maupertuis had already skimmed the cream of the honour. Gradually it turned out that Maupertuis's result deviated from all other results, and con-

sequently his result has hardly been used in the later investigations. The Peru measurement, in spite of the great difficulties experienced, proved to be more dependable. When compared with the Cassini's measurement in France, the Maupertuis result gave the flattening $1/123$, while the Peru result was $1/300$, which is very close the present value.

In order to clear up possible errors, the Swedish Academy arranged a remeasurement of Maupertuis's triangulation in the beginning of the 19th century under the leadership of Jöns Svanberg. And then later, in 1928, the Finnish Geodetic Institute sent Yrjö Leinberg to remeasure the latitudes at Tornio and at Kittisvaara. It turned out that there were several errors. There were errors in reducing the base measurement and in the mathematical treatment of the angle observations. In the used astronomical sector mechanical changes had happened. Maupertuis had neglected the refraction; however, he had considered it, but then thought that it is insignificant. Finally this kind of measurement is affected by the deflection of the vertical, which Maupertuis, of course, did not know. All these errors happened to be in one and the same direction. They amounted to $12''$. Fortunately these errors increased the obtained value of flattening. In the opposite case, the controversy between flattening and elongating would not yet have been solved, and the scientific world should have waited for the result from Peru.

I do not talk much about the geodetic significance of these classical measurements, as you, my dear colleagues know that much better than I, and as those results have later been improved and completed by the numerous arc measurements in different parts of the world. I should like to tell you what else happened and what you possibly do not know.

May we start from the personality of Maupertuis. He was born in 1698, so he was only 37 years old during the Lapland measurement. As a child, he was pampered by his mother so far, that here was reason enough for his difficult character. He was not able to bear any criticism, and this turned out to be his destiny. Physically he

was short and he suffered of the Napoleonic complex. He was nervous, and his body was in movement all the time.

First he studied music and in 1723 he published in that field a paper "Sur la forme des instruments de musique". Five years later he visited London and got acquainted with Newton. Having returned from England he was invited to the Chilly Castle as a guest of Marquize Chatelet and Voltaire, who was an intimate friend of the Marquize. We may guess that this time in Chilly was a happy one for Maupertuis. There he prepared the ideas for the publication of "Sur la Figure de la Terre", which was just the paper that caused the sending of the expeditions to Peru and Lapland.

Then Maupertuis had the Lapland expedition. Upon his arrival from the North, he was warmly welcomed by the scientific society. Even Voltaire said that Maupertuis was one of the greatest mathematicians, but that it depended only on himself, whether he was to be one of the greatest writers also. This statement was based on the simple but exact descriptions of nature, which Maupertuis had scattered between the scientific text of "La Figure de la Terre".

Not only positive things happend. The Frenchmen, when wintering in Tornio, had a pleasant time. They arranged nice parties for the town people who, in turn, organized dinners and other entertainment. Maupertuis was master of poetry, he was a good singer and an excellent guitar player. He wrote sonnets to Tornio damsels. This might be the reason why two daughters of merchant Planström, Christine and Elisabeth, followed the Frenchmen to Paris. These young ladies' economy was not in order and Maupertuis tried to help them by arranging a money collection for them. Soon, Christine went in to a convent and Elisabeth married a British nobleman, M. Pelletot. This marriage was not happy, quite a contrary one. They quarreled, they even had legal actions against each other. Elisabeth behaved in such a way that we Finns are ashamed for her. Finally also she withdrew into a convent. The Pelletots had a child, and it would be interesting to know whether there still are descendants of this geodetic family in France.

That time Voltaire and Maupertuis had a good relationship, and Voltaire recommended Maupertuis to Friedrich der Grosse, who then invited Maupertuis to Berlin and Potsdam. Maupertuis was an appointed member of the Preussische Akademie der Wissenschaften and he acted as its President in the years 1746-53. His task was to reorganize the Academy and Maupertuis started the work with great enthusiasm. His first publication in the Academy was "On the Principle of Least Action". This paper was fateful for Maupertuis. Namely, a Swiss mathematician, König, attacked Maupertuis and blamed that this principle had originally been presented by Leibniz and that Maupertuis had only borrowed it from him.

Also Voltaire joined in the criticism of Maupertuis. He wrote ironical verses, as these heroes of physics conquered high mountains and two Lappish girls, but had been able to show only the same that Newton had proved without stepping out of the door of his study.

This all was too much for Maupertuis's easily insured character. He got quite sick and left Berlin in 1753. For his last years he withdrew to his friend's mathematician Bernoulli's house in Basel, Switzerland, where he died in 1759.

We have seen that Maupertuis contributed to the geodesy of France and of the whole world in an essential way. We Finns are thankful and happy for the geodetic activity in the Tornio valley, as this gave an effective push to geodetic measurements in our remote country. Further we understand better and better the attention, which these energetic Frenchman drew upon this remote area.

As an evident token of this understanding we have erected two monuments, one at each end of Maupertuis's measurement. Last autumn we issued, simultaneously with the French postal service, a postal stamp in honour of this scientific achievement. I assure you that we understand the importance of this great man, and I am sure that you, my dear colleagues, agree with us.

Von der mitteleuropäischen Gradmessung zur globalen Geodäsie -
 Beiträge des Geodätischen Instituts Berlin/Potsdam

H. Kautzleben, Potsdam

Am 24., 25. und 26. April 1862 versammelten sich beim preußischen Generalleutnant z. D. Johann Jakob Baeyer, dem Kommissar der Königlich-Preußischen Regierung für das Projekt einer mitteleuropäischen Gradmessung, in dessen Dienstzimmer im Generalstab in Berlin als Kommissarien der K. u. K. Österreichischen Regierung bzw. der Königlich-Sächsischen Regierung für dieses Projekt: Generalmajor A. von Fligely, Direktor des Militärgeographischen Instituts in Wien, Prof. Dr. C. von Littrow, Direktor der Sternwarte in Wien, und Dr. J. Herr, Professor am Polytechnischen Institut in Wien, sowie Dr. J. Weisbach, Bergrat und Professor an der Bergakademie zu Freiberg, A. Nagel, Professor an der Polytechnischen Schule zu Dresden, und Prof. Dr. C. Bruhns, Direktor der Sternwarte in Leipzig.

Sie versammelten sich, um - wie es im Protokoll heißt - "sich vorläufig über die Einleitung der Arbeiten an der Mitteleuropäischen Gradmessung im Bereich von Österreich, Preußen und Sachsen zu besprechen, und namentlich, um eine Verbindung der Triangulationen für die Zwecke der Gradmessung zu vereinbaren."

Man einigte sich unter Vorbehalt der Genehmigung der betreffenden hohen Regierungen über folgende Punkte:

1. Bis zu welcher Fehlergrenze dürfen die älteren Triangulationen benutzt werden...
2. Über die Auswahl der astronomisch zu bestimmenden Punkte. Längen-Bestimmungen...
3. Auszuführende Triangulationen. Verbindung der Dreiecksketten der drei Staaten...
4. Basis-Messungen
5. Pendellänge - Bestimmungen...

6. Gleichförmigkeit in der Methode der Ausführung der Gradmessungs-Arbeiten...
7. Die nächste Konferenz..."

Zu jedem dieser Punkte enthält das Protokoll genauere Angaben.

Zum Punkt 7 heißt es im Protokoll:

"Die Konferenz hatte den Zweck, als Anfang zu den größeren Arbeiten der Mitteleuropäischen Gradmessung die gerade für die nächste Zeit vorliegenden geodätischen und astronomischen Arbeiten Österreichs, Preußens und Sachsens zu besprechen und in Einklang zu bringen und speziell die Triangulationen der respectiven Staaten in diesem Sommer gegenseitig zu verbinden. Einer späteren Konferenz muß eine detailliertere Feststellung sämtlicher vorzunehmenden geodätischen und astronomischen Arbeiten für alle beteiligten Staaten vorbehalten bleiben, wozu der Zeitpunkt gekommen sein dürfte, sobald die von einzelnen Staaten noch fehlende Zustimmung der Teilnahme an den Arbeiten für die Mitteleuropäische Gradmessung eingetroffen sein wird."

Allen Beteiligten war also bewußt, daß sie mit ihren Vereinbarungen den ersten gemeinsamen Schritt zur Verwirklichung einer groß angelegten internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der wissenschaftlichen Geodäsie taten.

Das Ziel dieser Zusammenarbeit war konkret. General Baeyer hatte es formuliert, im April 1861 der Königlich-Preußischen Regierung zur Bestätigung vorgelegt, die am 20. 6. 1861 erfolgte, und danach sofort unter dem Titel: "Über die Größe und Figur der Erde. Eine Denkschrift zur Begründung einer mitteleuropäischen Gradmessung" veröffentlicht.

Die Zukunft sollte zeigen, daß mit dem ersten Schritt zur Verwirklichung dieses Zieles eine große Organisation zur permanenten internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit, die erste überhaupt, begründet worden war. Mit der Teilnahme weiterer Länder erweiterte sich das Ziel bereits im Oktober 1867 von der "Mitteleuropäischen" zur "Europäischen Gradmessung" und dann ab Oktober 1886 zur "Internationalen Erdmessung". Aus dem Projekt

wurden langfristige, vielfach permanente Programme für die gemeinsame Bearbeitung der anstehenden und sich neu ergebenden wissenschaftlichen Probleme der Geodäsie.

Seit der Beratung im April 1862 in Berlin sind bis heute 125 Jahre vergangen. In dieser Zeit sind die Organisationsprinzipien und -strukturen der internationalen geodätischen Zusammenarbeit mehrfach geändert worden. Die Zusammenarbeit selbst ist jedoch niemals wieder vollständig eingestellt worden. Die internationale geodätische Kooperation ist objektiv notwendig im Interesse und zum Nutzen aller beteiligten Völker und der gesamten Menschheit.

Die Geschichte der internationalen geodätischen Organisation ist eingehend erforscht und mehrfach beschrieben worden. Neue Fakten sind den vorliegenden praktisch nicht mehr beizufügen. In jeder Zeit ist es jedoch erforderlich, das Verhältnis zur Geschichte, zum Erbe und zur Tradition spezifisch zu bestimmen.

Diese Aufgabe hat für das Zentralinstitut für Physik der Erde der Akademie der Wissenschaften der DDR eine besondere Bedeutung.

Mit der Gründung des Zentralinstituts im Jahre 1969 ist in ihm das damalige Geodätische Institut Potsdam aufgegangen, dessen Vorgeschichte, Gründung im Jahre 1870 und Entwicklung bis zum Ende des 1. Weltkrieges untrennbar mit der "Mitteleuropäischen" und der "Europäischen Gradmessung" bzw. der "Internationalen Erdmessung" verbunden sind.

In der Entwicklung der organisierten internationalen geodätischen Zusammenarbeit gibt es zwei deutlich getrennte Perioden:

Die erste Periode wurde 1862 eingeleitet und formaljuristisch am 31. 12. 1916 beendet. Zu diesem Zeitpunkt lief die Gültigkeit der zwischen den Regierungen der Teilnehmerstaaten 1896 abgeschlossenen und 1906 verlängerten Konvention über die Zusammenarbeit zur "Internationalen Erdmessung" ab.

Die zweite Periode begann im Juli 1919 mit der Bildung des Internationalen Forschungsrates und unter anderem einer Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik unter seiner

Schirmherrschaft. Innerhalb dieser Union entstand neben sechs geophysikalischen auch eine Sektion Geodäsie, die sich ab 1932 Internationale Assoziation für Geodäsie nannte.

Die neue Organisation übernahm de facto das Aufgaben- und Forschungsgebiet der "Internationalen Erdmessung". Sie weist gegenüber der "Internationalen Erdmessung" einige Unterschiede auf. Während die alte Organisation eine - wie wir heute sagen - zwischenstaatliche internationale Organisation war, wurde die neue als nichtstaatliche Organisation aufgebaut. Die Interessen der Wissenschaftler in den teilnehmenden Ländern werden durch spezielle Nationalkomitees vertreten. Diese werden von den jeweiligen Akademien der Wissenschaften oder ähnlichen Institutionen getragen, deren Meinungsäußerungen nicht unbedingt mit denen der Regierungen ihrer jeweiligen Länder identisch sein müssen. Die neue Internationale Assoziation für Geodäsie ist in wesentlich geringerem Maße selbständig und verfügt über wesentlich weniger finanzielle Mittel als die alte "Internationale Erdmessung". Sie ist eingeordnet in die Internationale Union für Geodäsie und Geophysik und mit dieser in den Internationalen Rat der Wissenschaftlichen Unionen, wie sich der Internationale Forschungsrat ab 1931 nannte.

Der Charakter von International Council of Scientific Unions, Internationale Union für Geodäsie und Geophysik und Internationale Assoziation für Geodäsie als nichtstaatliche Organisationen hat sich vollauf bewährt. Während der Zeit des 2. Weltkrieges war ihre Tätigkeit zwar wesentlich eingeschränkt, eine Neugründung nach Kriegsende war aber nicht erforderlich. Die internationale Zusammenarbeit konnte sofort reaktiviert und auf hohem Niveau fortgesetzt werden.

Bei allen Unterschieden zwischen der "Internationalen Erdmessung" und der Internationalen Assoziation für Geodäsie überwiegen die Gemeinsamkeiten in der wissenschaftlichen Zielstellung, aber auch in den Organisationsprinzipien.

Die Organisationsfragen zur Realisierung des Projektes der

"Mittleuropäischen Gradmessung" waren bereits auf der 1. Allgemeinen Konferenz der Bevollmächtigten der beteiligten Regierungen, die vom 15. bis 22. Oktober 1864 in Berlin stattfand, beraten und entschieden worden. Bei dieser Konferenz waren vertreten die deutschen Staaten: Großherzogtum Baden, Königreich Hannover, Kurfürstentum Hessen, Großherzogtum Hessen, Großherzogtum Mecklenburg, Kaiserreich Österreich, Königreich Preußen, Königreich Sachsen und Herzogtum Sachsen-Coburg-Gotha sowie das Königreich Italien, die vereinigten Königreiche Schweden und Norwegen, das Großfürstentum Polen und die Schweiz. Ihre Teilnahme hatten weiterhin zugesagt, waren aber bei der Konferenz nicht vertreten: die Königreiche Bayern und Württemberg sowie Belgien, Dänemark, Frankreich und Niederlande. Auf der Konferenz wurde festgelegt, daß die Allgemeinen Konferenzen der Bevollmächtigten die oberste Instanz für die "Gradmessung" seien. Sie sollten alle drei Jahre jeweils im Herbst stattfinden. Insgesamt haben 17 Allgemeine Konferenzen stattgefunden; die letzte fand vom 17. bis 27. 9. 1912 in Hamburg statt. Die wissenschaftliche Leitung der Gradmessung und die Verbindung der hierzu von den Regierungen beauftragten Gelehrten zwischen den Konferenzen wurde einer Permanenten Kommission übertragen, deren 7 Mitglieder jeweils von den Konferenzen zu wählen waren; sie sollte jährlich tagen. Als ausführendes Organ der Kommission wurde in Berlin ein Zentralbüro eingerichtet, dessen Kosten von der Preußischen Regierung übernommen wurden. Zum ersten Präsidenten der Gradmessung wählte die Konferenz General Baeyer. Er wurde ebenfalls zum Direktor des Zentralbüros berufen.

Auf der 8. Allgemeinen Konferenz 1886 wurde eine neue Konvention abgeschlossen. Die Organisation erhielt - wie bereits erwähnt - den Namen "Internationale Erdmessung". Es wurden Fragen der Finanzierung und der Leitung der Permanenten Kommission sowie der Abstimmungsmodus auf den Konferenzen neu geregelt. Entscheidungen sollten wie bisher durch die Allgemeinen Konferenzen getroffen werden. Die Leitung zwischen den Konferenzen erfolgte weiterhin durch die Permanente Kommission. Ihr wurden finanzielle Mittel in Höhe von 16000 Mark pro Jahr zur Verfügung gestellt.

Zur Leitung der Kommission wurde ein Präsidium gebildet, dem der Direktor des Zentralbüros und ein Ständiger Sekretär als ständige Mitglieder angehörten. Das in Berlin bleibende Zentralbüro widmete sich ausschließlich wissenschaftlichen Aufgaben, der Ständige Sekretär übernahm die Veröffentlichung der Berichte über die Allgemeinen Konferenzen sowie der zu den Konferenzen vorzulegenden Generalberichte über den Fortgang der Arbeiten zur Erdmessung.

Zum Direktor des Zentralbüros wurde von der 8. Allgemeinen Konferenz Prof. Dr. F. R. Helmert, der neue Direktor des Preußischen Geodätischen Instituts, gewählt. Er erfüllte diese Aufgabe bis zu seinem Tode im Jahre 1917. Zum Ständigen Sekretär wurde Prof. Dr. A. Hirsch, der Direktor der Sternwarte Neuchatel, berufen, der dieses Amt bis 1900 ausübte. Sein Nachfolger wurde der Direktor der Sternwarte Leiden, Prof. Dr. H. G. van de Sande Backhuysen. Dieser amtierte bis Ende 1916.

Am 1. 1. 1897 trat nochmals eine neue Konvention in Kraft.

Die Permanente Kommission wurde erweitert; jedes Teilnehmerland - jetzt auch das Deutsche Reich - konnte je einen Delegierten in sie entsenden. Die Beitragszahlungen wurden erhöht, so daß das Zentralbüro finanziell vom Preußischen Geodätischen Institut unabhängiger wurde. Diese Konvention galt bis zum 31. 12. 1916.

Die darin enthaltenen Organisationsprinzipien wurden von der Internationalen Assoziation für Geodäsie im wesentlichen übernommen. Wie bei der "Erdmessung" treffen sich seit 1922 die Delegierten der Mitgliedsländer alle drei Jahre (seit 1967 alle vier Jahre) auf einer Generalversammlung. Wie seit 1897 bestimmt jedes Nationalkomitee einen Delegierten für die Permanente Kommission; diese heißt seit 1946 Rat der Internationalen Assoziation für Geodäsie. Die Generalversammlung (seit 1971 der Rat der Internationalen Assoziation für Geodäsie) wählt den Präsidenten, Vizepräsidenten und den Generalsekretär, die gemeinsam das Büro der Internationalen Assoziation für Geodäsie bilden, sowie weitere 5 Vertreter (ab 1946 sind es die Präsidenten der damals gebildeten 5 Sektionen der Internationalen Assoziation

für Geodäsie), die zusammen mit den Büromitgliedern das Exekutivkomitee bilden. Dem Generalsekretär untersteht das Generalsekretariat (ab 1946 genannt Zentralbüro) der Internationalen Assoziation für Geodäsie. Das Generalsekretariat der Internationalen Assoziation für Geodäsie befindet sich seit 1922 in Paris.

Der Ablauf der Konvention zur "Internationalen Erdmessung" Ende 1916 und die Weiterführung der internationalen geodätischen Zusammenarbeit im Rahmen einer neuen Organisationsform ab 1919 erwiesen sich für die Geodäsie in Deutschland und Österreich als äußerst nachteilig. Beide Staaten blieben bis zum 29. 6. 1926 von der Mitgliedschaft im Internationalen Forschungsrat, damit auch in der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik und der Internationalen Assoziation für Geodäsie offiziell ausgeschlossen. Die Vertretung Deutschlands wurde erst 1937 Mitglied in der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik.

Das Preußische Geodätische Institut verlor die entscheidende Grundlage seines wissenschaftlichen Wirkens, nachdem das mit ihm verbundene Zentralbüro der "Internationalen Erdmessung" seine Tätigkeit einstellen mußte. Die Arbeit des Institutes hatte faktisch mit der Bildung des Zentralbüros im Jahre 1865 begonnen, in dem die preußische Regierung die erforderlichen Mittel beschlossen hatte. Als offizieller Gründungstag ist jedoch der 1. 1. 1870 anzusehen. Ab diesem Zeitpunkt standen die explizit für das Institut bereitgestellten Stellen zur Verfügung und war Baeyer als Präsident berufen worden. Die Blütezeit des Preußischen Geodätischen Instituts begann mit der Berufung von F. R. Helmert zum Direktor des Instituts zum 1. 1. 1886, endgültig ab 15. 4. 1887. Unter seiner Leitung wurde das Institut 1891 von Berlin nach Potsdam verlegt, wo es auf dem Telegrafenberg speziell errichtete Gebäude erhielt und bis heute ansässig ist.

Die Geschichte des Geodätischen Instituts ist aus Anlaß des 100. Jahrestages seiner Gründung eingehend erforscht und dargestellt worden. Es ist immer wieder eindrucksvoll, die Beiträge des

Institutes zur Entwicklung der "Gradmessung" und der "Erdmessung" zu betrachten.

Wenn sie vorgestellt werden sollen, so heißt das nahezu, die wissenschaftlichen Ergebnisse der "Erdmessung" darzustellen.

In dieser ersten Periode der organisierten internationalen geodätischen Zusammenarbeit waren die Arbeiten des Zentralbüros und die des Preußischen Geodätischen Institutes untrennbar miteinander verbunden. Die Aufgabe bestand darin, die Resultate der Arbeiten in den teilnehmenden Ländern zentral zu sammeln und sie einer zusammenfassenden Diskussion und einheitlichen Kritik zu unterziehen. Die Organisation der "Erdmessung" verfolgte neben der Förderung dieser in erheblichem Maße zentralisierten Forschung vor allem das Ziel, dafür zu sorgen, daß die geodätischen Arbeiten in den Teilnehmerländern möglichst nach übereinstimmenden Regeln ausgeführt werden. Sie unterstützte darüber hinaus spezielle geodätische Studien und Forschungen im internationalen Rahmen und förderte sie zum Teil finanziell.

Durch die "Gradmessung" und die "Erdmessung" sind entsprechend der Denkschrift von Baeyer vor allem die Triangulations- und Gradmessungsarbeiten in Europa systematisch fortgesetzt worden.

Anfang des 20. Jahrhunderts war Europa fast vollständig mit trigonometrischen Netzen überzogen. Die Landestriangulationen selbst waren dabei von den jeweiligen, zumeist militärischen Landesvermessungen ausgeführt worden. Die Verbindung und die wissenschaftliche Auswertung überließ man weitgehend der "Erdmessung", d. h. vor allem dem Zentralbüro.

Um die Landestriangulationen miteinander verbinden zu können, mußten folgende Fragen gelöst werden: Schaffung eines einheitlichen Meßsystems, Wahl einer gemeinsamen Bezugsfläche und Annahme einer einheitlichen Ausgleichsmethode. Zur Lösung der erstgenannten Frage förderte die "Gradmessung" wesentlich den Abschluß der Internationalen Meterkonvention 1875 und profitierte dann von der Einrichtung des Internationalen Büros für Maß und Gewicht. Zu den beiden anderen Fragen konnte die "Erdmessung" aus

wissenschaftlichen und politischen Gründen noch keine Lösungen erreichen. Als vorrangig erwies es sich, die Krümmungsverhältnisse der Erdfigur eingehend zu untersuchen. Hierzu sind vom Zentralbüro sehr umfangreiche Forschungen durchgeführt worden. Begonnen werden konnte dabei mit den Gradmessungen; in zunehmendem Maße mußten jedoch auch die trigonometrischen Landesnetze mit astronomisch-geodätischen Beobachtungen verbunden werden.

Bis zu Beginn des 1. Weltkrieges wurden in Europa vor allem folgende große Gradmessungen durchgeführt:

1. die große westeuropäische Meridianbogenmessung: sie setzte sich aus englischen, französischen und spanischen Dreiecksketten zusammen und erreichte eine Ausdehnung von 27 Grad Breitendifferenz;
2. die Längengradmessung in 52 Grad Breite von der Westküste Irlands bis zum Ural; sie setzte sich aus verschiedenen Landesvermessungen zusammen und erreichte eine Ausdehnung von 69 Grad Längendifferenz;
3. die weitere Längengradmessung zwischen Brest und Astrachan in 47 1/2 Grad Breite.

Jedoch auch außerhalb Europas wurden bedeutende Gradmessungsarbeiten eingeleitet:

1. in Nordamerika die Längengradmessung in 39 Grad Breite vom Pazifischen zum Atlantischen Ozean, eine schiefe Gradmessung längs der Ostküste der USA mit einer Ausdehnung von etwa 24 Grad sowie die Meridianbogenmessung längs 98 Grad westl. Länge zwischen der Südküste Mexikos bis zur Küste des Eismeeress;
2. im Südteil Afrikas die Meridianbogenmessung längs 30 Grad östl. Länge.

Die "Erdmessung" hat sich um die Verbesserung der astronomisch-geodätischen Methoden große Verdienste erworben.

Sie sorgte dafür, daß in immer mehr Ländern Zenitdistanzmessungen

durchgeführt und später auch die astronomischen Azimute bestimmt wurden. Wesentlich mehr hat sich die "Erdmessung" um die astronomischen Längenbestimmungen bemüht. Das Zentralbüro führte eine Ausgleichung des Längennetzes Europas durch, das heute noch Bestand hat. Es förderte die Nutzung der drahtlosen Telegraphie zur Zeitübertragung. Diese Aufgabe wurde von dem 1913 gegründeten internationalen Zeitbüro übernommen. Die "Erdmessung" hat dazu beigetragen, daß der Meridian von Greenwich international als Anfangspunkt der geographischen Längenzählung und die Greenwicher mittlere Ortszeit als Weltzeit eingeführt wurden. Eine der aufwendigsten Aktionen der "Erdmessung" war die Einrichtung des Internationalen Breitendienstes im Jahre 1897, nachdem ab 1889 die Sternwarten von Berlin und Potsdam mit systematischen Polhöhenbeobachtungen begonnen hatten und durch diese und zusätzliche Beobachtungen in Honolulu eine fast-periodische Verschiebung der Erdachse im Erdkörper nachgewiesen worden war. Der Breitendienst ist auch über den 1. Weltkrieg hinaus weitergeführt worden.

Die Hauptaufgabe, die General Baeyer in seiner Denkschrift gestellt hatte, betraf das Studium der Lotabweichungen, d. h. der Unterschiede zwischen den astronomischen und den geodätischen Koordinaten. Die Arbeiten in der "Erdmessung", insbesondere ihres Zentralbüros, haben dazu wesentliche Ergebnisse geliefert. Eine erste systematische Untersuchung erfuhren die Lotabweichungen am Harz durch das Preußische Geodätische Institut. Ein ergiebiges Feld für die Berechnung der Lotabweichungen boten vor allem die Alpen. Mit der Zusammenstellung der von verschiedenen Seiten ermittelten Lotabweichungen und deren Reduktion auf einen Zentralpunkt befaßte sich das Zentralbüro, seitdem Helmert die Leitung des Potsdamer Instituts übernommen hatte. Diese umfangreichen Arbeiten standen in enger Verbindung mit der Bestimmung des Geoids mit Hilfe von astronomisch-geodätischen Beobachtungen. Es konnten jedoch von der "Erdmessung" nur methodische Erkenntnisse erzielt werden.

Große Leistungen wurden von der "Erdmessung" und ihrem Zentralbüro zur Erforschung des Geoids mit Hilfe von Schweremessungen erzielt. Seit ihrer Gründung hatten sie die vollständige Untersuchung der

Wirkungen der Schwerkraft als eine ihrer Aufgaben bezeichnet. Nachdem von Sterneck ein brauchbarer Apparat für relative Pendelmessungen entwickelt worden war, wurden diese Messungen von der "Erdmessung" stark unterstützt. Sie führten zum Aufbau eines großräumigen Schwerenetzes, zuerst des Wiener und im Jahre 1909 des Potsdamer Schweresystems. Die "Erdmessung" hat auch Schweremessungen auf dem Meer mit Hilfe von Barometern gefördert. Berühmt sind die absoluten Schweremessungen geworden, die vom Zentralbüro im Potsdamer Geodätischen Institut von 1894 bis 1906 durchgeführt worden sind. Die "Erdmessung" hat sich seit Ende des 19. Jahrhunderts intensiv mit der Frage der Reduktion der gemessenen Schwerewerte auf das Geoid beschäftigt. Dabei mußten auch die Probleme der Gesteinsdichtebestimmung in situ sowie die der Isostasie eingehend untersucht werden. Als wichtiges Problem bearbeitete das Zentralbüro ebenfalls die Ableitung bzw. Verbesserung der internationalen Schwereformel. Praktische Ergebnisse zur Berechnung der Geoidundulationen aus Schwereanomalien nach der Stokesschen Formel konnten vom Zentralbüro der Erdmessung noch nicht erreicht werden, da das Beobachtungsmaterial seinerzeit nicht ausreichend war. Das gelang erstmals 1934 Hirvonen.

Ein wichtiger Punkt bereits auf dem Programm der 1. Allgemeinen Konferenz war die Regulierung der absoluten Höhenverhältnisse gewesen. Die "Gradmessung" bzw. "Erdmessung" hat diese Probleme intensiv bearbeitet und dabei durch Erfahrungsaustausch die Entwicklung des Nivellements maßgeblich gefördert. Ein Hauptthema bildete die Suche nach einem gemeinsamen Nullpunkt für alle europäischen Nivellements. In Verbindung damit hat die Erdmessung die Einrichtung von ständigen Pegelstationen und die Überwachung des mittleren Meeresniveaus sehr gefördert. Dabei verfolgte die "Erdmessung" auch das Ziel, eventuelle zeitliche Veränderungen der Erdkruste zu untersuchen. Erheblicher Nutzen aus den damals begonnenen Messungen konnte dann in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts gezogen werden.

Mit Unterstützung der Internationalen Erdmessung begann das Potsdamer Geodätische Institut um die Jahrhundertwende mit systematischen Untersuchungen der Erdzeiten. Dabei wurden

Horizontalpendel nach Zöllner eingesetzt und bereits wesentliche Erkenntnisse über die elastischen Eigenschaften des Erdkörpers erzielt.

Aus heutiger Sicht und im historischen Vergleich muß man den Zeitraum von 1862 bis 1916, in dem die Organisation der "Mitteleuropäischen" bzw. "Europäischen Gradmessung" und der "Internationalen Erdmessung" bestand, als Zeit höchster Blüte in der Entwicklung der Geodäsie charakterisieren. Die gleiche Einschätzung gilt auch dem eng mit ihr verbundenen Preußischen Geodätischen Institut.

In diesem Zeitraum entwickelte sich die globale Geodäsie im wahren Sinne dieses Begriffs. Globale Geodäsie heißt Vermessung der gesamten Erde, also der Festlands- und der Meeresgebiete, mit geodätischer Genauigkeit. Noch bis weit in den betrachteten Zeitraum hinein war die Geodäsie praktisch ausschließlich auf die Festlandsgebiete bezogen. Trigonometrische und astronomisch-geodätische Messungen können nur auf dem Festland betrieben werden. Die notwendige Verbindung zwischen den Kontinenten erfolgte mit Hilfe theoretischer Voraussetzungen, deren Gültigkeit durch astronomische Beobachtungen und durch Einpassung der isolierten Meßergebnisse auf den einzelnen Kontinenten in das vorgegebene Modell plausibel gemacht werden konnte.

Die gravimetrischen Arbeiten von Hecker und zahlreiche andere Fortschritte der Geodäsie im Zeitraum der "Erdmessung" wurden durch die großen technischen Neuerungen jener Zeit auf instrumentellem Gebiet möglich. Sie lösten wiederum intensive methodische Arbeiten aus. Aber auch unabhängig davon sind in dieser Zeit fundamentale theoretische Arbeiten durchgeführt worden, von denen als herausragende die Arbeit von H. Bruns zum Grundproblem der wissenschaftlichen Geodäsie zu nennen ist, die er 1878 in den Veröffentlichungen des Preußischen Geodätischen Instituts vorlegte.

Im Zeitraum der "Erdmessung" sind schließlich Forschungen durchgeführt und begonnen worden, durch die die Geodäsie in engste

Verbindung mit der Geophysik gebracht wurde. Auch hierbei sind im Geodätischen Institut Potsdam Pionierleistungen vollbracht worden. Die intensive Nutzung von Schweremessungen für die Geodäsie erforderte, daß die Verteilung der Massen im Untergrund sowie die Probleme der Isostasie eingehend untersucht werden mußten. Es wurde damit begonnen, Deformationen der Erdoberfläche und relevante Bewegungen der Erdkruste meßtechnisch zu erfassen. Die Kreiselbewegungen und die Gezeiten des Erdkörpers wurden erkannt und als Forschungsprobleme in Angriff genommen. Die letztgenannten Fragen bestimmen seit den sechziger Jahren des 20. Jahrhunderts wesentlich das Profil der wissenschaftlichen Geodäsie. Sie gehören heute zu den Hauptaufgaben des Bereiches Geodäsie im Zentralinstitut für Physik der Erde. Die dabei erzielten Ergebnisse sind ein beachtlicher Baustein für den Wiederanstieg der geodätischen Forschung in Potsdam nach dem Zusammenbruch mit Ende des 1. Weltkrieges und den folgenden Jahrzehnten mühevollen Ringens um den Anschluß an die internationale Entwicklung der Geodäsie.

Im Vortrag ist bereits davon gesprochen worden, daß die Geodäsie in Deutschland und damit auch das Geodätische Institut Potsdam mit Ende des 1. Weltkrieges von der internationalen geodätischen Zusammenarbeit ausgeschlossen wurden. Für das Institut galt es, eine neue Aufgabe zu finden. Hierbei bot eine wirksame Unterstützung die Mitwirkung in der Baltischen Geodätischen Kommission. Diese wurde 1924 gegründet und ging 1953 in die neu gegründete Nordische Geodätische Kommission ein. Deutschland hat in ihr bis zum Ende des 2. Weltkrieges mitgearbeitet. Die Beteiligung des Geodätischen Instituts Potsdam an dieser internationalen Organisation ist jedoch in keiner Weise mit der Tätigkeit des Instituts in der "Internationalen Erdmessung" zu vergleichen. Das Institut beteiligte sich in diesen Zeiträumen wieder stärker an den praktischen Arbeiten der Landesvermessung.

Nach Abschluß des 1. Weltkrieges hat sich der Charakter der internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Geodäsie deutlich verändert. Während zur Zeit der "Internationalen

Erdmessung" die wissenschaftlichen Forschungen unmittelbar mit den praktischen Bedürfnissen der Staaten gekoppelt werden konnten, war das nach dem 1. Weltkrieg in dieser Form nicht mehr möglich. Die Kulturstaaten hatten die geodätischen Arbeiten zur Erschließung ihrer Landgebiete zum größten Teil abgeschlossen. Der Weltkrieg hatte die militär-strategische Bedeutung der geodätischen Daten offenkundig gemacht, so daß staatliche Interessen der Vereinigung der Landesnetze weitgehend entgegenstanden. Die Forschungen der Erdmessung lagen deshalb besonders auf theoretischem und experimentellem Gebiet.

Nach dem 1. Weltkrieg wurden zahlreiche technische Neuerungen in die Schweremessungen eingeführt. Sie betrafen zunächst das klassische Verfahren der Pendelbeobachtungen. Die Schweremessungen auf dem Meer mittels dieses Verfahrens wurden besonders durch Vening Meinesz gefördert. Eine Umwälzung brachten die Gravimeter mit sich, die auf dem Prinzip der Federwaage beruhten. Das internationale Schwerenetz konnte auf diese Weise innerhalb kurzer Zeit ausgedehnt und verdichtet werden.

Die Bereitstellung neuer technischer Mittel bewirkte auch für die anderen Bereiche der Geodäsie, daß sie ein verändertes Gesicht erhielten und umfangreichere Aufgaben in Angriff genommen werden konnten. Ein hervorragendes Beispiel dafür ist die Weltlängenbestimmung ab 1926. Auch bei den Gradmessungsarbeiten, die ihre frühere Bedeutung für die Erdmessung verloren hatten, kündigten sich neue Entwicklungen an.

Trotz des Aufschwungs der physikalischen Geodäsie wurden die Triangulationen in verschiedenen Ländern immer häufiger und für stets größere Untersuchungen angewendet. Immer spürbarer wurde die Notwendigkeit, ein internationales geodätisches Bezugssystem einzuführen, das den neuesten Erkenntnissen der Wissenschaft entsprechen sollte. Diesem Anliegen entsprachen die Einführung des Internationalen Ellipsoides von Hayford und die diesem angepaßte Schwereformel von Heiskanen. Jedoch bereits ein Jahrzehnt später wurden von Krassowski wesentliche Verbesserungen dazu vorgelegt.

Bei der Bestimmung des Geoids kam die Geodäsie jedoch nicht über die Beschränkung auf einzelne Gebiete hinaus. Die Vorschläge von Bruns konnten überhaupt nicht realisiert werden.

Während des 2. Weltkrieges kam die Entwicklung der Geodäsie wie der Wissenschaft allgemein zum Stillstand oder wurde für militärische Zwecke mißbraucht. Mit Beginn der Nachkriegszeit setzte jedoch eine stürmische Entwicklung ein, die in hohem Maße mit dem sich ständig beschleunigenden wissenschaftlich-technischen Fortschritt in allen gesellschaftlichen Bereichen verknüpft ist. Im Bereich der geodätischen Meß- und Untersuchungsverfahren erfolgte die Weiterentwicklung am deutlichsten im Ergebnis der Nutzung der neuen physikalisch-technischen Verfahren und der Datenverarbeitung. Es sei hier lediglich auf die Einführung der Entfernungsmessung und insbesondere auf die geodätische Nutzung der künstlichen Erdsatelliten verwiesen. Dieser Prozeß ist auch in der Zusammenarbeit innerhalb der IAG nachzuweisen, deren Bedeutung für die Koordinierung der Aufgaben und Probleme sowie die Diskussion von Lösungsvarianten ständig wächst.

Eines der herausragenden Ergebnisse in der Entwicklung der Geodäsie ist, daß sich in den letzten vier bis fünf Jahrzehnten die Meß- und Beobachtungsgenauigkeit um etwa zwei Zehnerpotenzen erhöht hat. Damit sind einerseits zeitliche Veränderungen des Erdkörpers geodätisch meßbar geworden; andererseits müssen die den geodätischen Modellen zugrunde liegenden geophysikalischen Vorstellungen überprüft und erweitert werden, und, auf diese bezogen, neue geodätische Modelle sowie moderne theoretische Konzeptionen erarbeitet werden. Die Satellitengeodäsie hat das Gesicht der Geodäsie entscheidend verändert und es ermöglicht, globale geodätische Systeme mit hoher Genauigkeit aufzustellen. Zu den neuen Gebieten der geodätischen Forschung gehört auch die Meeresgeodäsie. Die hohe Meßgenauigkeit läßt auch relativistische Effekte als geodätisch relevant erscheinen.

Die Mitarbeiter des Geodätischen Instituts Potsdam, ab 1969 der betreffenden Bereiche des Zentralinstituts für Physik der Erde, haben sich bemüht, an dieser Entwicklung der Geodäsie teilzunehmen und maßgebliche Beiträge zu ihr zu liefern. Unter Beachtung des heute objektiv erforderlichen Aufwands, der in manchen Fällen die

Leistungskraft der größten Industriestaaten erfordert, haben das Geodätische Institut bzw. das Zentralinstitut für Physik der Erde als Repräsentanten der wissenschaftlichen Geodäsie in der DDR beachtenswerte Leistungen aufzuweisen. Dabei sollten die außerordentlich komplizierten Bedingungen berücksichtigt werden, unter denen das Institut in den ersten Jahren nach der Zerschlagung des faschistischen Reiches zu arbeiten hatte. Ab 1946 Bestandteil der Berliner Akademie der Wissenschaften, wurde das Geodätische Institut Potsdam etwa ab 1953 in großzügiger Weise gefördert, bis es etwa in der Mitte der sechziger Jahre eine Leistungsfähigkeit erreicht hatte, die der relativen Bedeutung der wissenschaftlichen Geodäsie in der DDR entspricht. Einen großen Aufschwung nahmen bald nach Bildung der DDR die wissenschaftlichen Beziehungen zu den Partnereinrichtungen in den sozialistischen Ländern, insbesondere in der UdSSR. Das Geodätische Institut Potsdam konnte bereits 1948 den Kontakt zur Internationalen Assoziation für Geodäsie herstellen. Es bedurfte jedoch eines vieljährigen zähen Kampfes, bis im Jahre 1967 die selbständige Mitgliedschaft der Akademie der Wissenschaften der DDR in der Internationalen Union für Geodäsie und Geophysik durchgesetzt werden konnte und damit eine gleichberechtigte Mitwirkung auch der Geodäten der DDR an der internationalen geodätischen Zusammenarbeit möglich wurde. Die Geodäten der DDR nutzten diese Möglichkeit im Interesse der internationalen geodätischen Gemeinschaft und zum Nutzen ihres Landes. Dazu einige wenige Beispiele:

In den sechziger Jahren ist das Geodätische Institut Potsdam seiner Verpflichtung gerecht geworden, den Absolutwert der Schwere in Potsdam, der 1906 durch Kühnen und Furtwängler publiziert wurde, durch eine neue Bestimmung zu überprüfen. Seit dieser Zeit erfolgen regelmäßig Messungen des absoluten Schwerewertes am historischen Meßpunkt mit dem modernen Meßapparat der sowjetischen Akademie der Wissenschaften. Durch moderne Verbindungsmessungen wurden die Schweredifferenzen zwischen dem Bezugspunkt in Potsdam und den Schwerehauptpunkten in den benachbarten Ländern neu bestimmt. Das Geodätische Institut Potsdam, jetzt das Zentralinstitut für Physik der Erde, beteiligt sich seit 1945 am

internationalen Zeitdienst, seit 1957 am Internationalen Breitendienst mit Beobachtungen auf international anerkannt hohem Niveau. An der Ausarbeitung der Satellitengeodäsie hat das Geodätische Institut Potsdam seit 1958 aktiv mitgewirkt. Es verfügt über eine leistungsfähige Station für Laserentfernungsmessungen zu künstlichen Erdsatelliten, deren Ergebnisse regelmäßig allen Mitwirkenden an internationalen Projekten, wie dem Projekt MERIT, zur Verfügung gestellt werden, und es beteiligt sich mit eigenen Auswerteprogrammen an der Analyse und Bewertung des insgesamt gesammelten Meßmaterials. Das besondere Interesse der Forschungsarbeiten im geodätischen Bereich des ZIPE ist, erforderlichenfalls im Zusammenwirken mit anderen Bereichen, darauf gerichtet, die Wechselbeziehungen von Geodäsie und Geophysik, die geodynamische Auswertung der geodätischen Daten ebenso wie die Weiterentwicklung der geodätischen Konzeptionen und Verfahren aufgrund neuer Erkenntnisse zur Geodynamik zu untersuchen.

Schließlich sei auch darauf verwiesen, daß das Zentralinstitut für Physik der Erde mit der regelmäßigen Durchführung des internationalen Symposiums zu den Wechselbeziehungen von Geodäsie und Geophysik den Erfahrungsaustausch zwischen den interessierten Geodäten aller Länder fördert.

Abschließend und zusammenfassend sei bemerkt:

Der 125. Jahrestag der ersten mehrseitigen Beratung zum Projekt der "Mitteleuropäischen Gradmessung" in Berlin auf Initiative und unter Leitung von General Baeyer, der in Verbindung mit der Realisierung dieses Projekts auch das Preußische Geodätische Institut gegründet hat, ist dem Zentralinstitut für Physik der Erde verpflichtender Anlaß für die Durchführung des heutigen Kolloquiums. Mit der Würdigung dieses Ereignisses vor 125 Jahren, das mit vollem Recht als Gründungsdatum der internationalen geodätischen Organisation betrachtet werden kann, bekennen sich die Geodäten der DDR zur Tradition und der daraus resultierenden Verpflichtung, die völkerverbindende Zusammenarbeit auf ihrem Fachgebiet auch heute und in Zukunft aktiv zu pflegen. Die Anstrengungen des Geodätischen Instituts Potsdam im Rahmen und zur

Förderung der internationalen geodätischen Kooperation sind im Zentralinstitut für Physik der Erde lebendig; die von unseren Vorgängern dabei erreichten Leistungen sind uns Ansporn, ähnliche, die heutigen Möglichkeiten voll ausschöpfenden Beiträge zur Entwicklung der Geodäsie zu vollbringen.

Literaturhinweise

V. BIALAS:

Erdgestalt, Kosmologie und Weltanschauung. Die Geschichte als Teil der Kulturgeschichte der Menschheit. Konrad Wilzow, Stuttgart 1982

U. VOLTER:

Geschichte und Bedeutung der Internationalen Erdmessung. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C: Diss.-Heft Nr. 63, München 1963

J. J. BAEYER:

Über die Größe und Figur der Erde. Eine Denkschrift zur Begründung einer mittel-europäischen Gradmessung, Georg Reimer, Berlin 1861

PROTOKOLL

der am 24., 25. und 26. April 1862 in Berlin abgehaltenen vorläufigen Beratungen über das Projekt einer Mitteleuropäischen Gradmessung. P. Stankiewicz, Berlin 1882

W. FÖRSTER:

Verhandlungen der Ersten Allgemeinen Konferenz der Bevollmächtigten zur Mittel-Europäischen Gradmessung vom 15. bis 22. Oktober 1864, R. v. Decker, Berlin 1865

H. KAUTZLEBEN und H. STILLER:

Die Geschichte des Geodätischen Instituts Potsdam. Vortrag, als Manuskript gedruckt. Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam 1970

H. KAUTZLEBEN:

Zum 100. Todestag von J. J. Baeyer. Vermessungstechnik 33. Jg. (1985), 307-309

Sachsens Beitrag zur Mitteleuropäischen Gradmessung unter Nagel

H. Peschel, Dresden

Das Polytechnikum in Dresden, die heutige Technische Universität Dresden, war eine der ersten technischen Lehranstalten, an der das Fachgebiet Geodäsie als selbständiges Wissensgebiet eingerichtet wurde. Schon der erste Direktor dieser Technischen Bildungsanstalt W. G. Lohrmann war ein Geodät. Der Universalgelehrte Andreas Schubert, der Erbauer der ersten deutschen Lokomotiven und Dampfschiffe, unterrichtete bereits um 1830 im Rahmen der Ingenieurwissenschaften auch in Vermessungskunde und Astronomie. Als 1849 August Nagel, ein 28jähriger verpflichteter Feldmesser, der 1841 bis 1844 an der Dresdener Technischen Bildungsanstalt Ingenieurwissenschaften studiert hatte, Schuberts Assistent für Geodäsie wurde, lagen darin die Wurzeln für die wissenschaftliche Geodäsie in Sachsen. 1852 richtete Nagel, zum Lehrer für Geodäsie ernannt, ein Laboratorium für Instrumentenuntersuchungen und für studentische Übungen ein, das er nach seiner Berufung zum Professor für Geodäsie im Jahre 1859 zum Vorgänger des späteren Geodätischen Instituts der Technischen Hochschule Dresden ausbaute. Damit hatte sich Nagel ein festes Fundament für seine wissenschaftliche Arbeit geschaffen.

Er suchte Kontakte zu seinen Fachkollegen außerhalb Sachsens, zu Bauernfeind in München, Hunnäus in Hannover, vor allem aber zu General Baeyer in Berlin, der ihn schon frühzeitig für seine Gedanken der wissenschaftlichen geodätischen Zusammenarbeit und für den Zusammenschluß der benachbarten trigonometrischen Netze Preußens, Sachsens und Österreichs interessierte.

Nachdem Baeyer 1861 seinen Vorschlag an die Preussische Regierung eingereicht und genehmigt erhalten hatte, aus vornehmlich wissenschaftlichen, aber auch aus militärischen Gründen die Triangulationen Preußens mit denen Sachsens und Österreichs zu verbinden, konnte er im April 1862 in Berlin mit Zustimmung der drei Landesregierun-

gen die "Mitteleuropäische Gradmessung" gründen. Schon im November desselben Jahres hatten weitere 13 europäische Länder ihre Mitarbeit erklärt.

Die Landesregierung Sachsen beauftragte mit ihrer Genehmigung zur Teilnahme an der Zusammenarbeit bereits im Februar 1862 Professor Nagel mit der Ausarbeitung des Projektes für eine neue sächsische Landestriangulation. Sie ernannte ihn zum Kommissar des Königreichs Sachsens in der von General Baeyer geleiteten Kommission für die Mitteleuropäische Gradmessung, dazu noch die Professoren Bruhns von der Universität Leipzig und Weisbach von der Bergakademie Freiberg.

Nagel hatte sich intensiv mit der Theorie der trigonometrischen Netze und ihrer praktischen Anwendung beschäftigt. Er legte sein Projekt für die Sächsische Landestriangulation vor, das sowohl als Kernstück der Mitteleuropäischen Gradmessung höchsten Anforderungen genügen als auch das feste Fundament für eine moderne Landesvermessung des Königreichs Sachsen bilden sollte. Dazu gehörten

- die optimale Gestaltung der trigonometrischen Netze I. und II. Ordnung,
- Homogenität der Winkelmessungen,
- maximale Genauigkeit der Basismessung,
- günstige Verteilung der astronomischen Längen-, Höhen- und Azimutbestimmungen im Netz sowie
- die Anlage eines Landeshöhennetzes mittels geometrischen Nivellements.

Nach Genehmigung des Projektes und Bereitstellung der erforderlichen Mittel durch die Landesregierung Sachsens übernahm Nagel die Oberleitung für die Projektbearbeitung und auch die Arbeiten am Trigonometrischen Netz. Bruhns führte die astronomischen Arbeiten und Weisbach das Landesnivellement durch. Die Hauptarbeit lag damit auf Nagels Schultern.

Die Erkundung des Dreiecksnetzes I. und II. Ordnung, seine Vermarkung und Bebauung verlangten bei den damaligen Verhältnissen in den Jahren 1863 bis 1865 höchsten persönlichen Einsatz für

die 36 Trigonometrischen Punkte I. Ordnung und die 122 Trigonometrischen Punkte II. Ordnung. Mit einem Weitblick sondergleichen entwickelte Nagel eine hervorragende Arbeitsorganisation. Als wichtigstes Element betrachtete er dabei die unterirdische Vermarkung und Sicherung, sollten doch die Trigonometrischen Punkte weit in die Zukunft eine sichere Festlegung als Grundlage der Sächsischen Landesvermessung gewährleisten. Im gleichen Sinne erfolgte die Bebauung mit Steinfeilern und steinernen Beobachtungstürmen, die stabiler und dauerhafter sind als hölzerne Signalgerüste für die Winkelmessungen.

1865 begann Nagel die Winkelbeobachtungen mit dem Repsold-Universalinstrument, dem damaligen Spitzengerät, das heute in der Sammlung historischer Geräte der Technischen Universität Dresden aufbewahrt wird. Er folgte dabei den Anregungen des Astronomen Argelander, daß die höchste Genauigkeit der Winkelmessung in einem trigonometrischen Netz I. Ordnung nur durch vollkommene Homogenität der Beobachtungen erreicht werden kann, d.h. mit einem einzigen Instrument und durch einen einzigen Beobachter. In den vier Jahren 1865 bis 1868 führte Nagel mehr als 50 000 Zielungen auf den Trigonometrischen Punkten I. Ordnung aus einschließlich der Anschlußrichtungen nach den Trigonometrischen Punkten II. Ordnung mit den dazu gehörigen Ablesungen an den vier Schraubenmikroskopen. Als Nagel 1893 wegen Erblindung aus dem Hochschuldienst ausscheiden mußte, schob er die Erkrankung auf die Überanstrengung bei diesen Winkelmessungen.

Bei der Auswertung der Winkelmessungen mit den Stations- und Winkelsummenausgleichen bestätigte sich die Richtigkeit seiner Überlegungen zur Erzielung homogener Winkelmessungen, denn die erreichte Genauigkeit mit einem mittleren Winkelfehler von $\pm 0,33''$ hatte bisher noch kein anderes trigonometrisches Netz I. Ordnung aufzuweisen. Bemerkenswert ist noch, daß die Netzausgleichung mit 129 Korrelatengleichungen wiederholt werden mußte, weil bei der Aufstellung der Seitenbedingungsgleichungen ein sehr schwer aufzufindender Druckfehler in der zehnstelligen Logarithmentafel von Vega zu groben Unstimmigkeiten bei der Hauptprobe geführt hatte.

In den Jahren 1864 bis 1866 wurde Nagel weitgehend von seinem Assistenten Helmert unterstützt. Dieser hatte 1862 bis 1864 Ingenieurwissenschaften am Dresdner Polytechnikum studiert. Helmert übernahm während der Winkelmessungen Nagels einen großen Teil seiner Vorlesungen und Übungen, auch half er ihm bei den vielfältigen Arbeiten an der Gradmessung. Diese Tätigkeit unter der Leitung Nagels wurde für Helmersts Lebensweg entscheidend, widmete er sich doch nun ganz der Geodäsie als seiner Lebensaufgabe.

Für die Basis der Sächsischen Landestriangulation hatte Nagel fünf Varianten ausgearbeitet. Die zentrale Lage bei Großenhain erwies sich als die günstigste. Durch den Eisenbahnbau Dresden-Berlin ergaben sich noch Verschiebungen des Projektes, ehe die Basis vermarktet werden konnte. Dabei standen Stabilität und Dauerhaftigkeit wieder im Vordergrund, um spätere Nach- und Neumessungen zu ermöglichen. Leider hat die Stadterweiterung Großenhains durch Überbauung der Basis diese Möglichkeit zunichte gemacht. Die Messung dieser Großenhainer Basis von knapp 9 km Länge wurde 1872 mit dem Besselschen Basismessapparat unter Leitung von Professor Bruhns vorgenommen. Dabei führten die Professoren Nagel und Helmert, der inzwischen an die TH Aachen berufen worden war, persönlich sämtliche Ablesungen und Meßkeilablesungen aus. Bei den Messungen wurden sie von 9 wissenschaftlichen Mitarbeitern und weiteren 19 Arbeitskräften unterstützt. Nach Berücksichtigung aller damals bekannten systematischen Fehlereinflüsse ergab sich für die 8908 m lange Basis eine relative Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-6}$.

Die astronomischen Arbeiten an der Sächsischen Landestriangulation hatte Professor Bruhns von der Sternwarte der Universität Leipzig mit seinem wissenschaftlichen Mitarbeiter Dr. Albrecht übernommen. Sie führten drei Längenbestimmungen zwischen der Leipziger Sternwarte und den Trigonometrischen Punkten Dresden (Mathematisch-physikalischer Salon im Zwinger), Basismitte Großenhain und Freiberg aus und dazu 13 Anschlußmessungen nach Observatorien in Preußen, Thüringen, Bayern, Österreich und den Niederlanden. Auf 14 Trigonometrischen Punkten I. Ordnung im Sächsischen Dreiecksnetz hat Bruhns Polhöhen- und Azimutmessungen vorgenommen, die nach seinem

Tode im Jahre 1881 Dr. Albrecht vervollständigte. Die mittleren Fehler der astronomischen Messungen lagen für die Längenbestimmungen im Mittel bei $\pm 0,017^s$, für die Polhöhen bei $\pm 0,11''$ und für die Azimute bei $\pm 0,23''$. Für die damaligen Verhältnisse waren das hervorragende Ergebnisse.

Schließlich gehören die gravimetrischen Messungen mit dem Reversionspendel des Preußischen Geodätischen Instituts in den Jahren 1863 bis 1871 in Leipzig, Dresden und Freiberg, die Prof. Bruhns und Prof. Albrecht ausgeführt haben, noch zum Sächsischen Anteil an der Mitteleuropäischen und Europäischen Gradmessung.

Entsprechend den Beschlüssen der Mitteleuropäischen Gradmessungskommission hatten die beteiligten Länder auch Präzisionsnivelllements auszuführen. Sie standen in Sachsen unter der Leitung von Prof. Weisbach, der ein Landeshöhennetz mit 118 Hauptlinien erkundete und vermarken ließ, das in den Jahren 1865 bis 1884 von 7 seiner Mitarbeiter und Gradmessungsassistenten nivelliert wurde. Dabei waren Nivellierungsinstrumente von Breithaupt und Hildebrand im Einsatz mit Nivellierlatten aus Holz. Da es bereits 1865 begonnen wurde, stellt es das älteste Landesnivellelement im Rahmen der Europäischen Gradmessung dar. Der dabei erzielte mittlere Kilometerfehler von ± 5 mm entsprach den in den Konferenzbeschlüssen der Gradmessungskommission gestellten Anforderungen. Trotzdem hat Nagel es abgelehnt, dieses sächsische Landesnivellelement als Präzisionsnivellelement zu bezeichnen.

Nagel war es gelungen, gemeinsam mit seinen leider zu früh verstorbenen Kollegen Bruhns und Weisbach sowie mit Helmert, den zahlreichen Gradmessungsassistenten und sonstigen Mitarbeitern die Sächsische Landestriangulation zum Kernstück der Europäischen Gradmessung im Herzen Europas mit dem höchsten damals erreichbaren Genauigkeitsgrad werden zu lassen. Die Ergebnisse liegen in den vier Abteilungen der Astronomisch-Geodätischen Arbeiten zur Europäischen Gradmessung im Königreich Sachsen vor, von denen Nagel selbst drei bearbeitet hat und in den Jahren 1881, 1883 und 1886 veröffentlichte.

Helmert sagte zum 80. Geburtstag seines hochverehrten Lehrers, daß der von Nagel erzielte Genauigkeitsgrad international lange allein stand, was auch Ferrero wiederholt betonte. "Die Ausgleichung macht ihm keiner nach!" waren Helmersts Worte. Die Sächsische Haupttriangulation bezeichnete er später als das wichtigste Verbindungsglied im Deutschen Hauptdreiecksnetz. Wegen seiner großen Leistung wurde Nagel auch 1898 zum Delegierten für die Deutsche Erdmessung auf der Stuttgarter Konferenz der Internationalen Erdmessung vorgeschlagen.

Als Helmert zu Beginn des Jahres 1886 Direktor des Preußischen Geodätischen Instituts in Berlin wurde, verfügte der Preußische Generalstab den Anschluß der Thüringischen Netze an die Sächsischen und Bayrischen Netze, so daß die zwischen ihnen bestehenden Netzspannungen gemindert werden konnten. Im gleichen Jahr schloß sich Preußen auch der Europäischen Erdmessung an, die später in die Internationale Erdmessung überführt wurde.

Die hohe Genauigkeit des Nagelschen Dreiecksnetzes I. Ordnung diente mehrfach späteren Forschungsarbeiten. 1934/35 nutzte ich selbst für meine Dissertation die Strecken zwischen den unterirdischen Zwischenpunkten der Großenhainer Basis als Vergleichsnormale für die indirekte Streckenmessung mit Invardrahtbasis und parallaktischer Winkelmessung. Es war für mich ein erhebendes Gefühl, nach sechs Jahrzehnten die von Nagel eingebrachten und gemessenen unterirdischen Festlegungen auszugraben und für Forschungszwecke zu nutzen. Dr. Schoeps vom Zentralinstitut für Physik der Erde und mein früherer Assistent und heutiger Dozent an der TU Dresden Dr. Töpfer hatten für ihre Arbeiten zur Ableitung übergeordneter Dreiecksnetze aus untergeordneten nach dem sogenannten "Ungarischen Verfahren" Nagels Winkelmessungen zu Vergleichen herangezogen und dabei die Gleichwertigkeit der abgeleiteten Dreieckswinkel mit den direkt gemessenen nachgewiesen. Die Studenten haben bei ihren Übungen in der Landesvermessung ihre selbständigen Netze II. Ordnung eigener Basismessung durch Einhängen in das Nagelsche Netz überprüfen und die Genauigkeit ihrer eigenen Arbeiten einschätzen können.

Zur Untersuchung rezenter horizontaler Erdkrustenbewegungen wurden die Messungen des Staatlichen Trigonometrischen Netzes der DDR mit den Werten des Nagelschen Netzes verglichen, vor allem im Vogtländischen Schwarmbebengebiet und im Elbtalgraben, um etwaige signifikante Verschiebungen festzustellen. Neue Ergebnisse über Nachmessungen von Dreiecksseiten des Nagelschen Netzes mit modernsten elektronischen Streckenmeßgeräten liegen nicht vor. Die Nachmessung der Großenhainer Basis in ihrer ganzen Länge ist infolge der Überbauung nicht mehr möglich. Dennoch könnte die Überprüfung von Teilstrecken an Hand der unterirdischen Zwischenvermarkungen zur Einschätzung des Maßstabs und zur Aufklärung von Netzspannungen im Nagelschen Netz beitragen.

Das heutige 15. Helmert-Kolloquium verdeutlicht die überragende Leistung von Professor August Nagel, dem Begründer der Geodäsieausbildung von heute an der Technischen Universität Dresden und ihres bis 1968 bestehenden Geodätischen Instituts, und zeigt seinen wissenschaftlichen Weitblick, der stets auf die geodätische Praxis gerichtet war. Daß Helmert nicht nur die Anregungen für seinen wissenschaftlichen Lebensweg seinem hochverehrten Lehrer August Nagel verdankt, sondern selbst aktiv an der Mitteleuropäischen Gradmessung in Sachsen gemeinsam mit den Wissenschaftlern Bruhns, Weisbach und vielen anderen sächsischen Geodäten mitgewirkt hat, stellt einen besonders wertvollen Beitrag zu diesem 15. Helmert-Kolloquium dar, das dem 125. Jahrestag ihrer Gründung gewidmet ist!

Bericht über die Tätigkeit der Österreichischen Kommission für
die Internationale Erdmessung (ÖKIE)

K. Rinner, Graz

1. Vorbemerkung

Die ehrenvolle Einladung zur Teilnahme am 15. Helmert-Kolloquium durch den Direktor des Zentralinstituts für Physik der Erde, Prof. Dr. H. Kautzleben, war mit dem Vorschlag verbunden, über heutige Vorhaben und Ergebnisse auf dem Gebiet der Erdmessung im Bereich der ÖKIE zu sprechen. Ich habe diesem Wunsch gerne entsprochen, weil ich darin nicht nur eine persönliche Auszeichnung sehe, sondern auch eine Bestätigung der vielfach guten fachlichen und menschlichen Beziehungen, welche seit Beginn der Gradmessung zwischen unseren Ländern bestehen, und ich danke dafür recht herzlich. In den folgenden Ausführungen erlaube ich mir, zum besseren Verständnis der derzeitigen Situation, erst einige geschichtliche Ereignisse für die ÖKIE ins Gedächtnis zu rufen und danach über gegenwärtige Aufgaben und Ereignisse der ÖKIE zu berichten.

2. Die geschichtliche Entwicklung der ÖKIE

Die Geschichte der ÖKIE ist recht wechselvoll, denn sie ist ein Spiegelbild der politischen Entwicklung vom großen österreichischen Kaiserstaat mit etwa 60 Mio. Einwohnern zum Kleinstaat der zweiten Republik mit etwa einem Zehntel davon. Sie beginnt bei den im April 1862 in Berlin stattgefundenen Beratungen über die Einleitung von Arbeiten für die europäischen Gradmessungen, die ja den Gegenstand dieses Kolloquiums darstellen. Denn an diesen hat außer Vertretern des initiativen Landes Preußen und des interessierten Landes Sachsen auch eine österreichische Delegation teilgenommen. Österreich war somit bereits in der Geburtsstunde der mitteleuropäischen Gradmessung präsent, aus der später die internationale Erdmessung und die Internationale Union für Geodäsie und Geophysik entstanden.

Der offizielle Beitritt zur Mitteleuropäischen Kommission wurde wegen des schwerfälligen bürokratischen Weges bis zur Unterschrift des Kaisers Franz Josef erst am 2. Juni 1863 vollzogen. Gleichzeitig wurde eine österreichische Kommission für die mitteleuropäische Gradmessung gebildet und beauftragt, die in Österreich anfallenden Gradmessungen in Zusammenarbeit mit dem in Wien befindlichen Militärgeographischen Institut (MGI) durchzuführen.

Der Beitritt Österreichs zur mitteleuropäischen Gradmessung hatte wegen der zentralen Lage und Größe des Landes Signalwirkung und an der im Oktober 1864 in Berlin stattgefundenen ersten allgemeinen mitteleuropäischen Gradmessungskonferenz waren bereits 16 Staaten vertreten. In der Folge wurden die Gradmessungsarbeiten in Österreich intensiv fortgeführt. Die Triangulierung und die Anschlußmessungen zu den Nachbarstaaten erfolgten durch das MGI, die astronomischen Arbeiten durch die Gradmessungskommission. Das MGI hatte Geld und Personal, die zivile Gradmessung hatte Mangel an beidem. An den Arbeiten beteiligten sich zivile und militärische Fachkräfte mit klangvollen Namen wie der Direktor der Universitätssternwarte C. v. Littrov, Prof. Herr, die späteren Geodäsieprofessoren Schell und Tinter, die Offiziere R. v. Sterneck und Hartl und auch andere. An der Technischen Hochschule Wien wurde eine Lehrkanzel für Höhere Geodäsie und Sphärische Astronomie eingerichtet, was von F. R. Helmert (scherzhaft) als geodätischer Luxus bezeichnet wurde.

Der Krieg zwischen Österreich und Preußen im Jahre 1866 brachte eine politische Umwandlung des Kaiserreiches in eine vom Dualismus Österreich Ungarn getragene Monarchie. In dieser war das MGI für beide Staaten, das Gradmessungsbüro aber nur für Österreich zuständig.

Auf der zweiten, 1867, wieder in Berlin abgehaltenen allgemeinen Konferenz wurde die Erweiterung zu einer Kommission für die Europäische Gradmessung beschlossen. Die Wertschätzung der österreichischen Aktivität in der Gradmessung geht aus der Wahl von Wien als Ort für die folgende dritte allgemeine Konferenz 1871 hervor.

Es ist bemerkenswert, daß seit dieser Zeit keine analoge Konferenz in Österreich stattfand und erst nunmehr Bemühungen einsetzen, die Generalkonferenz der Nachfolgeorganisation Internationale Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) 1991 nach Wien zu bringen.

In Österreich erlebte die Forschung und die praktische Tätigkeit eine Blütezeit, die durch die Namen R.v. Sterneck, Ritter v. Oppolzer und H. Hartl gekennzeichnet ist. Der Plan, alle Gradmessungsarbeiten (also Triangulierung und Astronomie) dem MGI zu übertragen, scheiterte am Einspruch Ungarns. Deshalb wurde ein der Gradmessungskommission zugeordnetes Gradmessungsbüro geschaffen und dessen Leitung R.v. Oppolzer übertragen. Dieses schloß die Feldarbeiten 1876 ab und konnte sich in der Folge mit der Ausarbeitung und Publikation der Ergebnisse befassen. Auf der 1886 in Berlin stattfindenden achten allgemeinen Konferenz erweiterte die Kommission für die europäische Gradmessung ihre Befugnisse zu einer Kommission für die Internationale Erdmessung. Im gleichen Jahr übernahm F.R. Helmert als Leiter des geodätischen Institutes in Potsdam die Leitung des Zentralbüros der Internationalen Erdmessung. Österreich folgte dieser Entwicklung mit Verzögerung und schuf aus seiner Gradmessungskommission erst 1904 eine österreichische Kommission für die Internationale Erdmessung (ÖKIE).

Vom Gradmessungsbüro wurden bis 1917 14 Bände über astronomische Arbeiten und 1 Band über das Wiener Schweresystem von R. v. Oppolzer publiziert, das vor dem 1911 eingeführten Potsdamer Schweresystem Gültigkeit hatte.

Nach dem 1918 erfolgten Zerfall der Monarchie wurde Österreich ein auf etwa ein Zehntel seiner Fläche und Bevölkerung reduzierter Kleinstaat. Das Gradmessungsbüro wurde als Abteilung dem neu gegründeten Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) angegliedert und mit wissenschaftlichen, geodätischen, astronomischen und geophysikalischen Arbeiten, insbesondere für Zwecke der Internationalen Erdmessung, Zeitbestimmung und Uhrendienst im Staat beauftragt. Die ÖKIE blieb als wissenschaftliche Organisation ohne besondere Befugnisse erhalten.

Im September 1919 wurde in Rom die Internationale Union für Geodäsie und Geophysik (IUGG) gegründet, in welcher die geodätischen Belange durch die Internationale Assoziation für Geodäsie (IAG) vertreten werden. Österreich konnte aber als ein im ersten Weltkrieg besiegtes Land nicht Mitglied dieser Nachfolgeorganisation der Erdmessungskommission werden. Der Gedanke an die internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit blieb aber trotzdem auch in Österreich lebendig.

Zur Anpassung an die nun gegebenen Verhältnisse erhielt die ÖKIE im Jahre 1928 ein Statut. Durch dieses wurden die Kompetenzen der ÖKIE auf die Auswahl und Beratung der Erdmessungsarbeiten reduziert, die früher vorgesehene selbständige Durchführung von Arbeiten war nicht mehr möglich. Dazu kam die Vertretung der österreichischen Interessen bei allen zwischenstaatlichen geodätischen Verhandlungen und die Publikation der Arbeiten der Kommissionsmitglieder.

In der Folge wurden die Theorie und die Praxis der Erdmessungsarbeiten in Österreich eifrig gepflegt. Die Neu-Triangulation, das Nivellement und das Schwerenetzen wurden begonnen. Die internationalen Verbindungen wurden in der Bodenseekonferenz, in der baltischen Kommission und durch den Besuch von internationalen Tagungen wahrgenommen. Die Publikation von Ergebnissen wurde in einer neuen Folge der geodätischen Arbeiten Österreichs für die internationale Erdmessung fortgesetzt. Doch konnte aus finanziellen Gründen nur ein Band 1922 erscheinen. Nach diesem erfolgten Publikationen in der Österreichischen Zeitschrift für Vermessungswesen (ÖZfV), welche auch als Organ der ÖKIE benutzt wurde.

Die Bemühungen um die Aufnahme Österreichs in die IUGG wurden durch den Anschluß Österreichs an Deutschland 1938 unterbrochen. Die Kommission konnte zwar ihre Tätigkeit zuerst fortsetzen, sah sich aber 1942 veranlaßt, diese einzustellen. Nach Beendigung des Krieges und der Wiederherstellung des österreichischen Staates wurde 1946 die ÖKIE mit dem Statut von 1928 wieder geschaffen. Nach der im August 1948 in Oslo erfolgten Aufnahme Österreichs in

Nach der im August 1948 in Oslo erfolgten Aufnahme Österreichs in die IUGG konnte Österreich in den internationalen wissenschaftlichen Organisationen vertreten sein. Eigene Beiträge zu aktuellen Problemstellungen der mathematischen und physikalischen Geodäsie entstanden in großer Zahl. Stellvertretend für eine große Anzahl von weltweit beachteten Wissenschaftlern seien die Professoren F. Hopfner, Graff, A. Prey, E. Dolezal, K. Ledersteger, F. Steinhäuser und H. Moritz genannt.

Die Satzungen aus dem Jahre 1928 wurden 1980 durch ein neues Statut ersetzt. Nach diesem ist die ÖKIE das Organ der internationalen Erdmessung in Österreich. Sie vertritt die Belange Österreichs bei bestimmten zwischenstaatlichen Erdmessungsarbeiten und ist die offizielle Verbindungsstelle Österreichs mit der IUGG. Der Kommission obliegt die Auswahl jener Arbeiten, die Österreich aus seiner Beteiligung an der internationalen Erdmessung zufallen, die Erstellung entsprechender Vorschläge an das zuständige Ministerium, sowie die Beratung und Durchführung der von diesem genehmigten Arbeiten. Die Funktionsdauer wurde, wie in der IAG und IUGG mit 4 Jahren festgelegt.

Nach diesem Statut kann die ÖKIE Anregungen geben und Projekte koordinieren, verfügt aber weder über eigenes Fachpersonal noch über Budgetmittel. Ihre Existenz wirkt trotzdem stimulierend und befruchtend. Denn der ÖKIE gehören alle o. Universitätsprofessoren sowie je ein Vertreter der zuständigen Bundesministerien, der Präsident des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen und ein Vertreter der Bundesingenieurkammer an. Außerdem können außerordentliche Mitglieder ohne Stimmrecht und korrespondierende Mitglieder aus dem In- und Ausland berufen werden.

In der Folgezeit hat die ÖKIE die durch die neuen Satzungen gegebenen Möglichkeiten genutzt. Sie beteiligt sich zum Teil leitend an internationalen Organisationen und Projekten, stellte leitende Funktionäre der IAG, stiftete eine Helmert-Medaille für besondere Leistungen in der Geodäsie im In- und Ausland und nahm die seit 1922 unterbrochene Publikationsreihe der neuen Folge der geodäti-

schen Arbeiten Österreichs für die internationale Erdmessung 1981 wieder auf. Auf ihren Vorschlag wurden Geodäten aus der BRD, der Schweiz, Ungarn, der DDR und Italien zu korrespondierenden Mitgliedern ernannt. In der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) wurde ein Nationalkomitee für Geodäsie und Geophysik (NKGK) gebildet, das den wissenschaftlichen Kontakt auf Akademieebene pflegt und eine beratende Funktion für die ÖKIE ausübt. Die Bedeutung und Anerkennung der geodätischen Forschung in Österreich kommt auch durch ihre Vertretung in der Österreichischen Akademie der Wissenschaften durch ein wirkliches und ein korrespondierendes österreichisches Mitglied und vier korrespondierende Mitglieder aus den Ländern BRD, UdSSR, Ungarn, USA zum Ausdruck.

3. Gegenwärtige Aufgaben der ÖKIE

Der Rahmen für die Aufgaben der ÖKIE wird durch die Satzungen abgesteckt. Im engeren Sinn sind dies die Beratung des zuständigen Ministeriums bei der Beteiligung Österreichs an nationalen und internationalen geodätischen Projekten und die Vertretung in den internationalen geodätischen Organisationen. Im weiteren Sinn ist die durch das NKGK der ÖAW verstärkte ÖKIE als höchste Instanz auf dem Gebiete der geodätischen Forschung in Österreich anzusehen. Ihr obliegt daher auch die Information über die aktuelle internationale Situation, die Vermittlung von Anregungen zu eigenen Untersuchungen, die Koordinierung der Forschungsvorhaben im Lande und die Unterstützung bei der Erlangung von Fördermitteln. Außerdem fallen Fragen des Berufsbildes, der universitären Ausbildung, der Forschung und die Vertretung dieser Interessen im nationalen und im internationalen Raum zu diesen Aufgaben.

Um Einblick in die Rolle zu erhalten, welche die ÖKIE in der Österreichischen Geodäsie und Erdmessung spielt, wird in der Folge über die Tätigkeit in den beiden Funktionsperioden seit 1980 berichtet, in welchen die neuen Satzungen wirksam wurden und die Leitung der ÖKIE dem Vortragenden übertragen war bzw. noch ist. Dabei wird von der Anfang 1980 vorliegenden Situation ausgegangen,

welche in dem von Mitgliedern der ÖKIE ausgearbeiteten "Konzept für die geodätische Forschung in Österreich" (Bretterbauer 1979) beschrieben ist.

Publikation der Neuen Folge

In der ersten Sitzung der neuen Funktionsperiode im Juni 1980 wurde beschlossen, die seit 1922 unterbrochene Publikation der neuen Folge der Geodätischen Arbeiten Österreichs für die internationale Erdmessung wieder aufzunehmen und einen Band 2 über die österreichischen Beiträge zur 17. Generalversammlung der IUGG und der IAG in Canberra 1979 vorzulegen. Der 250 Seiten starke Band enthält die Berichte österreichischer Funktionäre der IAG (Unionlecture des amtierenden IAG-Präsidenten), Berichte der Präsidenten der Sektion "Kontrollvermessung", der Präsidenten der Kommission "Ausbildung in der Geodäsie" und der Spezialstudiengruppen "Grundlegende geodätische Parameter" und "Rechnerische Methoden der geometrischen Geodäsie". Außerdem die wissenschaftlichen Beiträge von Mitgliedern und Mitarbeitern der ÖKIE und Informationen über die ÖKIE. Mit diesem eindrucksvollen Bericht haben die Österreichische Geodäsie und die ÖKIE ein international beachtetes Lebenszeichen gegeben.

Bestimmung des Geoides in Österreich

Als zentrale wissenschaftliche und vordringliche Aufgabe wurde von der ÖKIE die Bestimmung eines genauen Geoides in Österreich erklärt. Denn auf diesem Gebiet lag ein Nachholebedarf vor, der sich nicht nur in der theoretischen und praktischen Geodäsie sondern auch in den Nachbardisziplinen spürbar machte und dessen Beseitigung dringend erforderlich war. Auf diese Tatsache wurde in einer Publikation der ÖAW (Rinner, Moritz 1977) aufmerksam gemacht. Vorarbeiten für die Aufgabe lagen im BEV vor. Außerdem konnte eine Grazer Pilotstudie in einem 10.000 km^2 großen Gebiet um das Testnetz Steiermark verwendet werden. Aufgrund der dabei gewonnenen

Erfahrungen wurde von der OKIE die Bestimmung eines genauen Geoides in Österreich vorgeschlagen. An dieser Aufgabe beteiligten sich Geodäsie-Institute der TU Graz, Innsbruck und Wien, das BEV, das Institut für Weltraumforschung (IWF) der ÖAW und das Institut für Geophysik und Meteorologie der Universität Wien. Dieses Geoid sollte in aufeinanderfolgenden Näherungen berechnet werden, in welchen zusätzliche und genauere Daten verwendet werden. Aus zeitlichen Gründen konnte die erste Version dieses Geoides nur für 4/5 des Staatsgebietes (von der Ostgrenze bis Tirol) ermittelt werden.

Als Meßgrößen wurden die Lotabweichungen von 564 etwa 10 km entfernten trigonometrischen Punkten mit dem Astrolab oder einer Zenitkammer bestimmt, was einer Datendichte von 1 Punkt oder 2 Lotabweichungskomponenten je 100 km^2 entspricht. Das digitale Höhenmodell (DHM) mit der Einheit $20'' \times 20''$ wurde von der Technischen Universität Wien zur Verfügung gestellt. Für die Dichte von Wasser, Kruste und Mantel wurden die Normalwerte 1,027, 2,67 und $3,27 \text{ g/cm}^3$ verwendet und für die isostatische Reduktion (Airy Heiskanen) die Ausgleichstiefe 30 km gewählt.

Die Berechnung des Geoides 83 erfolgte in Wien und in Graz mit dem gleichen Datenmaterial, aber nach verschiedenen Verfahren. Die Wiener Lösung entspricht im wesentlichen der Methode eines flächenhaften astrogeodätischen Nivellements nach Helmert bei welchem die an der Oberfläche gemessenen Daten mit Hilfe der durch das DHM vermittelten Topographie und Massen auf das Nullniveau reduziert werden.

Die Grazer Lösung benutzt die gemessenen Oberflächenwerte im Sinne Molodenskis. Zwar erfolgt auch hier eine (isostatische) Reduktion aller Daten, aber nur um glatte Werte für die nachfolgende Berechnung der relativen Geoiddaten durch Kollokation nach der Methode der kleinsten Quadrate zu erhalten. Durch Anbringung der entgegengesetzten Werte an die berechneten Daten wird die Reduktion wieder rückgängig gemacht. Die Darstellung des Geoides erfolgt mit Hilfe kubischer Spline-Flächen.

Der Vergleich der Grazer und Wiener Lösung ergab eine gute Übereinstimmung (in der Geoidhöhe innerhalb $\pm 0,5 \text{ m}$). Einen weiteren

unabhängigen Vergleich ermöglichte das aus Dopplerdaten des Projektes ALGEDOP berechnete Geoid (Rinner 1986).

Über die Berechnung des österreichischen Geoides 83, der ersten Näherung des von der ÖKIE angestrebten genauen Geoides Österreichs wurde in Band III der Neuen Folge der geodätischen Arbeiten Österreichs für die internationale Erdmessung berichtet. Diese der 17. Generalversammlung der IAG in Hamburg 1983 vorgelegte Publikation fand internationale Beachtung, was auch die inzwischen notwendig gewordene 2. Auflage bezeugt.

Derzeit wird an einer Erweiterung und Verbesserung des Geoides 83 zu einem Geoid 87 gearbeitet. Dies erfolgt durch Einbeziehen der noch ausstehenden Lotabweichungen in Tirol und Vorarlberg, durch die Verwendung zusätzlicher Schweredaten sowie durch wesentlich verbesserte digitale Modelle für Höhen und Dichte und das globale Schwerfeld. Für die Berechnung des Geoides 87 stehen nach (Sünkel 1986) etwa 1200 Lotabweichungskomponenten 25.000 Schwerewerte, 40 Doppler- und 10 GPS-Koordinaten zur Verfügung. Dazu kommen ($6' \times 10'$) Schwerewerte für Europa, ($1^\circ \times 1^\circ$) globale Schwere-mittelwerte und ($350 \text{ m} \times 350 \text{ m}$) DHM-Mittelwerte für Österreich und seine unmittelbare Umgebung, Mittelwerte für ein weltweites ($5' \times 5'$) Höhenmodell und schließlich ein digitales ($1,5' \times 2,5'$) Dichtemodell für Österreich und seine nähere Umgebung. An Erdmodellen stehen (OSU 86) oder (GBM 2) bis zur Ordnung $n = 180$ mit 33.000 Koeffizienten sowie ein isostatisches Modell (Sünkel 1985) zur Verfügung. Detailstudien lassen für die relativen Geoidhöhen $\pm 0,5 \text{ cm/1 km}$, für die Schwereanomalien rund $\pm 3 \text{ mgal}$ und für die Lotabweichungen $\pm 0,8''$ erwarten.

Trifft dies zu, so können in Zukunft in vielen Fällen auch im Gebirge die immer schwierig auszuführenden Messungen von Anomalien durch eine Prädiktion ersetzt werden. Der erzielte Fortschritt wird bewußt, wenn in Erinnerung gebracht wird, daß W. Heiskanen, ein Papst der Physikalischen Geodäsie, noch vor einigen Jahrzehnten auf die Frage nach dem Geoid im Gebirge geantwortet hat: "Im Gebirge mißt man keine Schweredaten".

Einführung eines neuen Höhensystems

In der österreichischen Landesvermessung wurden bisher in der Regel spheroidische Höhen verwendet, welche auf den Meeresspiegel der Adria (in Triest) bezogen sind. Da diese weder theoretisch noch praktisch den Bedürfnissen der Landesvermessung entsprechen, besteht die Notwendigkeit, ein neues Höhensystem einzuführen. Die ÖKIE hat in einer Subkommission mit Vertretern des BEV, der ÖKIE und der Hochschulinstitute die wissenschaftlichen und praktischen Aspekte eines neuen Höhensystems diskutiert und als Ergebnis eine Empfehlung ausgesprochen. Nach dieser sollen in der vorgesehenen Höhen-Daten-Bank (HDB) geopotentielle Knoten, Oberflächenwerte der Schwere, Daten für die Berechnung der Mittelschwere und Geoidhöhen (Undulationen) gespeichert werden. Der Anschluß an andere Höhensysteme soll mit Hilfe der in und um Österreich liegenden Punkte dieses Systems erfolgen.

Dieser Empfehlung haben die ÖKIE und das BEV und das zuständige Ministerium zugestimmt. Da die Messungen für das Grundnivellement in Österreich abgeschlossen sind und die Ausgleichung im Gange ist, steht das neue Höhensystem vor seiner Verwirklichung.

Bestimmung eines Schweregrundnetzes

Die erste Absolut-Schweremessung in Österreich wurde 1883 von R. v. Oppolzer ausgeführt, die nächsten vier erst etwa 100 Jahre später 1980 durch das Istituto di Minieri e Geofisica Applicata der Universität Triest (Marson, Morelli 1978). Um auch in Österreich ein Grundnetz für absolute Schweremessungen schaffen zu können, hat die ÖKIE die Bemühungen der Universitäten und der zuständigen Bundesanstalten unterstützt, ein Gerät JILAG (Joint Inst. and Lab. for Astrophysics) der Universität Colorado für die Messung der absoluten Schwere in einer Gerätegemeinschaft zu erwerben. An dieser sind die Universität Wien, die TU Graz, das BEV und das IWF der ÖAW beteiligt. Das Gerät wurde bereits geliefert, nach Absolvierung der Testmessungen wird es für die Bestimmung

des absoluten Schweregrundnetzes in Österreich sowie für die Eichung von Erdzeiten-Gravimetern Verwendung finden. Mit dem Gerät können auch Einblicke in tektonische und dynamische Höhenveränderungen der Erdkruste erwartet werden.

Teilnahme am Lithosphärenprojekt

Von der IUGG wurde 1981 ein internationales Projekt zur Erforschung der Lithosphäre (ICL = Inter Union Commission on the Lithosphere) vorgeschlagen, an dem sich möglichst viele Mitgliedsstaaten beteiligen sollten. Das Nationalkomitee für Geodäsie und Geophysik (NKG) hat in Analogie zum geodynamischen Projekt eine Teilnahme mit direkter Finanzierung durch das zuständige Ministerium vorgeschlagen.

Die ÖKIE hat diesem Vorschlag zugestimmt und den erforderlichen Antrag gestellt. Dieser wurde jedoch vom Bundesministerium aus finanziellen Gründen abgelehnt und die Bildung eines Forschungsschwerpunktes empfohlen, der durch den Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) gefördert werden könnte. Daraufhin wurde ein solcher Schwerpunkt aus 12 Einzelprojekten gebildet und die Finanzierung einer 5jährigen Laufzeit mit einem Betrag von 15 Mio. Schilling beantragt. Die Bedeutung dieses Schwerpunktes wurde durch Schreiben der ÖKIE unterstrichen.

Der FWF hat diesen Antrag jedoch abgelehnt und die Einrichtung von Einzelanträgen empfohlen. Damit wurde der ursprüngliche Plan einer vollen Mitarbeit Österreichs am ICL nicht mehr möglich. Um jedoch die Tradition österreichischer Mitarbeit an internationalen Projekten wenigstens zu einem geringen Teil zu erhalten, wurde von der ÖKIE und dem NKG beschlossen, zu den wichtigsten Tagungen Vertreter zu entsenden, um über den Stand und die weiteren Zielstellungen informiert zu bleiben und auch in bescheidenem Maße eigene Beiträge vorzulegen. Ein zusammenfassender etwa 100 Seiten starker Midterm-Bericht wurde 1986 auf einer Tagung in Japan vorgelegt. Aus der Schilderung geht hervor, mit welchen Schwierigkeiten die Übernahme internationaler Verpflichtungen auf dem Gebiete der Geodäsie und Geophysik in einem kleinen Land wie Österreich verbunden ist.

Teilnahme am Erdrotationsdienst

Von der IUGG wurde das österreichische NKGG eingeladen, sich an einem ab 1988 beginnenden Erdrotationsdienst (ERS) zu beteiligen. Da Österreich durch die Laser- und die Zeitmeßstation des IWF am Lustbühel sowie der Zeitstation im BEV dazu in der Lage wäre, hat das NKGG am 3.10.1986 eine Resolution beschlossen, in welcher die Teilnahme empfohlen wird. Diese Resolution wurde der ÖAW vorgetragen, von dieser am 16.10.1986 angenommen und ihre Durchführung empfohlen. Die ÖKIE hat in ihrer Sitzung vom 30.10.1986 in Anbetracht der Empfehlungen der vorgenannten Organisationen und nach eigener Erkenntnis über die Bedeutung der Teilnahme Österreichs an einem derartigen internationalen Dienst dieser Resolution zugestimmt und ihren Präsidenten beauftragt, die nötigen Schritte für die Durchführung einzuleiten. Dies erfolgte durch einen im Sinne der Satzungen der ÖKIE erstellten Antrag an das zuständige Bundesministerium vom 24.11.1986, die Arbeiten für den ERS zu genehmigen und die hierfür erforderlichen Mittel bereitzustellen. In der Antwort vom 28.1.1987 wurde zwar die große Bedeutung des ERS gewürdigt und die Beteiligung Österreichs daran als wünschenswert bezeichnet. Gleichzeitig wurde aber mitgeteilt, daß die hierfür erforderlichen Geldmittel (1,5 Mio Schilling je Jahr) nicht vorliegen. Es wird nun im Rahmen der ÖKIE versucht werden, durch Einbringung von Laser- und Zeitdaten für andere Projekte doch noch am Rande an dem Projekt teilzunehmen. Aber die große Chance, als kleines Land an einem großen weltweit notwendigen Projekt mitzutun, scheint vertan zu sein.

Bestimmung von geozentrischen 3-D-Landeskoordinaten

Die Bestimmung von geozentrischen 3-D-Koordinaten ist eine notwendige Aufgabe für jede Landesvermessung. Aus diesem Grund hat die ÖKIE die Durchführung der DÖDOC-Kampagne unterstützt, durch welche für 7 Punkte der österreichischen Landestriangulation 1. Ordnung Doppler-Koordinaten im System bestimmt wurden. Durch Vergleich mit den aus Landeskoordinaten, Höhen und Geoidundulationen

ermittelten lokalen 3-D-Koordinaten folgen Transformationsformeln für die Berechnung geozentrischer 3-D-Koordinaten in Österreich. Die Bestimmung der 3-D-Koordinaten wurde 1987 mit GPS-Messungen in der Kampagne DONAV wiederholt und dabei die Anzahl der Punkte vermehrt. Die bisher vorliegenden Ergebnisse werden als erste Näherungen betrachtet, die bei Vorliegen verbesserter Verfahren oder genauerer Meßdaten schrittweise zu verbessern sein werden.

Bestimmung von Krustenbewegungen

Die Größe und Richtung der relativen Bewegungen der Platten, in welche die Erdkruste zerbrochen ist, sowie tektonische Bewegungen in den Platten und in den Berührungszonen sind von großer Bedeutung für alle Geo-Wissenschaften. Es besteht daher für geowissenschaftliche Institute aller Länder die Forderung, zur Bestimmung dieser Daten und zur Ermittlung der verursachenden Bewegungsmechanismen beizutragen. In Anbetracht dieser Gegebenheit hat die ÖKIE verschiedene Aktivitäten unterstützt.

Die erste betrifft die Beteiligung des IWF der ÖAW am Crustal Dynamic Projekt der NASA. Diese derzeit mit dem stationären Hochleistungs-Laser im Observatorium Lustbühel des JWF erfolgende Tätigkeit ist durch einen Vertrag zwischen ÖAW und NASA festgelegt. Im Rahmen dieses Projektes wurden bisher etwa 120.000 Laser-Entfernungen nach geodätischen Satelliten mit einer Genauigkeit von ± 2 bis 3 cm für den Einzelpunkt und weniger als ± 1 cm für Normalpunkte gemessen. Zu einem späteren Zeitpunkt sind im Rahmen einer GPS-Kampagne auch Messungen mit Mikrowellen vorgesehen.

Die zweite von der ÖKIE geförderte Aktivität ist die Teilnahme des IWF an dem vom Europarat geplanten MEDLAS-WEGENER Projekt zur Bestimmung der Krustenbewegungen im alpinen und im mediterranen Raum. Auch hierfür werden Lasermessungen bereitgestellt. Aber auch der österreichische Beitrag zur Bestimmung des alpinen Geoides (ALGEDOP) gehört dazu. Dieses Projekt wird als Gemeinschaftsprojekt der Länder BRD, Frankreich, Italien, Österreich und Schweiz durchgeführt.

Das dritte von der ÖKIE unterstützte Projekt hat die Schaffung von Hauptpunkten für geodynamische Messungen in Österreich und die Bestimmung von relativen Bewegungen in drei tektonischen Störzonen zum Ziel. Mit diesem Projekt werden Voraussetzungen für geodynamische Untersuchungen und Aussagen in Österreich in einem einheitlichen System geschaffen. Die Durchführung erfolgt im Rahmen eines vom FWF geförderten Forschungsprojektes. Der Beitrag der ÖKIE besteht in einer ideellen Unterstützung durch Empfehlungen und Gutachten und in der Koordinierung von Aktivitäten in Österreich.

Da die Existenz und Funktionsfähigkeit des Observatoriums Lustbühl im IWF eine wichtige Voraussetzung für alle bisher genannten Aktivitäten ist, bemüht sich die ÖKIE, auch dazu beizutragen. Bemerkenswert sei, daß dadurch eine dringend benötigte personelle Unterstützung durch das BEV (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) erreicht werden konnte.

Sonstige Aufgaben

Da die ÖKIE den Auftrag hat, die Belange Österreichs in der internationalen Erdmessung zu vertreten, ist sie vor allem an dem Konzept für die geodätische Forschung in Österreich interessiert. Ihr obliegt daher auch die Aufgabe, das bestehende Konzept von Fall zu Fall zu überprüfen und den aktuellen Gegebenheiten anzupassen.

Außerdem ist die ÖKIE an der Ausarbeitung eines geodätischen Leitbildes interessiert und muß sich auch mit der Geodäten-Ausbildung an den Universitäten befassen. Der hierfür notwendige Kontakt mit den Universitäten, Ämtern und Berufsverbänden wird durch die der ÖKIE seit 1980 angehörigen Vertreter dieser Gruppen hergestellt.

Die ÖKIE hat auch die Abhaltung von Sommerschulen sowie die Kooperation mit ausländischen Institutionen, insbesondere mit China gefördert und ihre ideelle Hilfe hierzu zur Verfügung gestellt.

Zu den Aufgaben der ÖKIE gehört auch die Erstellung von Wahlvor-

schlagen für die Funktionäre der internationalen Organisationen (IUGG, IAG) sowie für ideelle und finanzielle internationale Auszeichnung und für die von ihr gestiftete F. Hopfner Medaille.

Ausblick

Aus den vorhergehenden Ausführungen folgt, daß der ÖKIE eine Reihe von wichtigen Aufgaben für die Erdmessung in Österreich übertragen sind. Da sie aber weder über ein Budget noch über Personalstellen verfügt, kann sie nur beratend, anregend und koordinierend wirken. Für die ÖKIE gilt wie für das Märchen: "Für den der daran glaubt, ist sie stark und nützlich, wenn alle daran glauben, haben alle Vorteile von ihr und wird für alle das Leben angenehmer, aber ein Zwang zu glauben besteht nicht."

Es ist verständlich, daß Bestrebungen bestehen, diese Situation zu ändern. Die ÖKIE soll Kompetenzen erhalten und soll mit einem Budget sowie mit Hilfskräften ausgestattet werden. Außerdem sollte sie entsprechend ihrer ursprünglichen Aufgabe ihren Namen in Geodätische Kommission ändern und damit eine Entwicklung nachvollziehen, welche der Bedeutung der Geodäsie entspricht und anderen Geowissenschaften die Möglichkeit gibt, ihre eigenen internationalen Vertretungen zu bilden und deren Struktur ihren eigenen Gegebenheiten anzupassen. Dazu sei erwähnt, daß in den meisten Staaten die ehemaligen Grad- und Erdmessungskommissionen im Sinne der Gliederung der IUGG in 7 Assoziationen, geodätische und geophysikalische Kommissionen und als Dachorganisation ein NKGG gebildet wurden. Die Geodätische Kommission Österreichs sollte ihrer Bedeutung für die Wissenschaft und Praxis entsprechend und aus Gründen der Tradition der ÖKIE eine interministerielle Kommission zwischen dem für das Bauwesen und für die Wissenschaft zuständigen Ministerium sein, das NKGG sollte aber wie bisher bei der ÖAW verbleiben.

Es kann angenommen werden, daß eine derart strukturierte Geodätische Kommission die vielen anstehenden Aufgaben der Erdmessung und der Geodäsie leichter zu lösen vermag, als die derzeitige ÖKIE in den ihr auferlegten Beschränkungen.

Literaturnachweis:

1. Bretterbauer, K. (1979)
Konzept für die Gradforschung in Österreich. BM f. Wissenschaft
u. Forschung, Wien
2. ÖKIE (1964)
Hundertjahrfeier der ÖKIE; Okt. 1963.
Österr. Verein f. Vermessungswesen, Sonderheft 24
3. ÖKIE (1983)
Das Geoid in Österreich. Geodätische Arbeiten.
Österr. Kommission f. d. Internationale Erdmessung,
Neue Folge, Bd. III, Graz 1983
4. Rinner-Moritz (1977)
Zur Geoidbestimmung in Österreich.
Sitzungsberichte der ÖAW, math. naturw. Klasse 186. Bd.,
S. 171-177
5. Rinner (1982)
Österr. Beitrag zur Entwicklung d. Vermessungswesens.
ZfV, 1982, 562-572
6. Rinner (1987)
Über den Österr. Anteil z. Alpine Geoid Doppler Project
(ALGEDOP). Institut f. Weltraumforschung der ÖAW, Graz.
7. Rinner (1987)
Theodor Ritter von Oppolzer und d. ÖKIE.
Neue Folge d. geod. Arbeiten Österreichs f. d. Internationale
Erdmessung, Bd. IV.

Baeyers "Entwurf zu einer mitteleuropäischen Gradmessung"
und die heutige Geodäsie

H. Moritz, Graz

1. Einleitung

Johann Jakob Baeyer (1794-1885) trat 1857 als preußischer Generalstabsoffizier in den Ruhestand. Vier Jahre später übermittelte er seiner Regierung einen "Entwurf zu einer mitteleuropäischen Gradmessung", von dem wir nach J. J. Levallois' Geschichte der Internationalen Assoziation für Geodäsie (Geodesist's Handbook, Bulletin Geodesique 54(3), 1980, S. 249-251) folgendes zitieren:

"Die beiliegende Übersichtskarte giebt ein anschauliches Bild von der Vertheilung der astronomisch festgelegten Punkte, an denen die Krümmung der Erdoberfläche vollständig und unabhängig ermittelt werden kann. Innerhalb dieses Rahmens können noch etwa 10 Meridian-Bögen unter verschiedenen Längen und noch mehr Parallel-Bögen unter verschiedenen Breiten berechnet werden; es kann die Krümmung der Meridiane jenseits der Alpen, mit der diesseits verglichen, der Einfluß der hohen Alpenkette auf die Ablenkung der Lothlinien untersucht, und die Krümmung von Theilen des Mittelländischen und Adriatischen Meeres, der Nord- und der Ostsee bestimmt werden. Kurz es bietet sich ein weites Feld von wissenschaftlichen Untersuchungen dar, die noch bei keiner Gradmessung in Betracht gezogen wurden, und die unzweifelhaft zu eben so viel interessanten, als wichtigen Ergebnissen führen müssen.

Ein solches Unternehmen kann aber, der Natur der Sache nach, nicht das Werk eines einzelnen Staates sein; schon das kritische Sichten und Ordnen der Materialien wäre auf diesem Weg völlig unmöglich. - Was aber der Einzelne nicht mehr vermag, das gelingt Vielen! Vereine, die im practischen Leben sich so glänzend bewährt haben, werden auf dem Gebiete der Wissenschaft von nicht minder gutem Erfolge begleitet sein.

Wenn daher Mittel-Europa sich vereinigt, und sich mit seinen Kräften und Mitteln an der Lösung dieser Aufgabe beteiligt, so kann es ein bedeutungsvolles, großartiges Werk ins Leben rufen. - Möge dasselbe den betreffenden hohen Regierungen bestens empfohlen sein.

Berlin, im April 1861

gez. Baeyer,
General-Lieutenant z.D."

Die weitere Geschichte - Mitteleuropäische Gradmessung, Europäische Gradmessung 1867, Internationale Erdmessung 1887, Internationale Union für Geodäsie und Geophysik 1919 - darf hier als bekannt vorausgesetzt werden. Aufgabe dieses Vortrags soll es sein, die in Baeyers "Entwurf" dargelegten Ziele mit dem Stand der heutigen Geodäsie zu vergleichen.

2. Die Erdfigur

Baeyer spricht von "Krümmung der Erdoberfläche". Damit meint er gewiß nicht die Erdoberfläche im gewöhnlichen Sinn, die "physische Erdoberfläche", die wir sehen, auf der wir gehen oder fahren und die wir auf topographischen Karten darstellen. Vielmehr meint er die "geometrische Erdoberfläche" im Sinne von Carl Friedrich Gauß ("Bestimmung des Breitenunterschieds zwischen den Sternwarten von Göttingen und Altona", 1828), "welche überall die Richtung der Schwere senkrecht schneidet, und von der die Oberfläche des Weltmeers einen Teil ausmacht." Diese berühmt gewordene Definition der "geometrischen Erdoberfläche" oder "mathematischen Erdgestalt" wurde 1837 von F.W. Bessel aufgegriffen; 1872 prägte J.B. Listing für diese Fläche den heute üblichen Namen Geoid. Sie ist eine überall horizontale Fläche, von der aus die "Höhen über Meeresniveau" (genauer spricht man von orthometrischen Höhen) gezählt werden.

Friedrich Robert Helmert beginnt den ersten Band seines grundlegenden Werkes "Die mathematischen und physikalischen Theorien der

Höheren Geodäsie" (1880) mit der seither oft zitierten Definition "Die Geodäsie ist die Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche." Er denkt hierbei sowohl an die physische Erdoberfläche als auch an das Geoid, unterscheidet aber natürlich beide Begriffe genau.

Wie sehr die geodätische Problematik damals die besten Geister beschäftigte - nicht zuletzt durch die von der Europäischen Gradmessung ausgehenden Impulse -, zeigt die vom bedeutenden Mathematiker Heinrich Bruns verfaßte und vom Preußischen Geodätischen Institut 1878 veröffentlichte Schrift "Die Figur der Erde", welche zusammen mit Helmerts Arbeiten die physikalische Geodäsie im heutigen Sinn begründete. Bruns gibt eine andere Definition: die Aufgabe der wissenschaftlichen Geodäsie sei "die Ermittlung der Kräftefunktion" der Erde, in der heutigen Terminologie die Ermittlung des Schwerepotentials der Erde oder des Geopotentials W . Es handelt sich hierbei um eine wesentliche Verallgemeinerung der Gaußschen Definition des Geoids: während das Geoid eine Niveaufläche $W = W_0$ ist, erhält man durch $W = W_1 = \text{const.}$ alle Niveauflächen, je nach der Wahl der Konstanten W_1 .

Die Brunssche Definition bildet gewissermaßen die Antithese zu Helmerts Definition: beide zusammen stecken den heutigen Rahmen der Erdmessung ab. Man denke nur an die Wichtigkeit des Schwerepotentials im Außenraum der Erde für die Berechnung genauer Satellitenbahnen.

Die Brunssche Definition ergibt auch eine Querverbindung zur Geophysik: wie schon Gauß klar erkannte, werden das Erdschwerefeld und die Niveauflächen durch die sichtbaren (Berge, Täler) und unsichtbaren (Einlagerungen verschiedener Dichte) Massenunregelmäßigkeiten der Erdkruste bestimmt. Umgekehrt sind durch die Bestimmung des Erdschwerefeldes Rückschlüsse auf solche Massenunregelmäßigkeiten möglich, was bekanntlich in der angewandten Geophysik zur Auffindung von Erzlagerstätten, Salzlagern oder Erdölquellen Verwendung findet.

Diesen Einfluß von Massenunregelmäßigkeiten auf das Geoid meint Baeyer, wenn er von "Krümmung der Erdoberfläche" und dem "Einfluß der hohen Alpenkette" spricht.

Schließlich sei auch noch von der "mittleren Erdgestalt" gesprochen: diese bezeichnet das mittlere Erdellipsoid, welches das Geoid global bestmöglich annähert. In der Tat ist eine solche Approximation bis auf etwa 100 m möglich, was bei einem Erddurchmesser von etwa 13.000 km nur die erstaunlich geringe relative Abweichung von 10^{-5} bedeutet. Um mit Gauß zu sprechen: "Anstatt vorkommende unzweideutige Beweise der Unregelmäßigkeit befremdend zu finden, scheint es eher zu bewundern, daß sie nicht noch größer ist."

Zum Abschluß dieses Abschnitts noch zwei vergleichende Zahlenwerte. 1840 fand F.W. Bessel die Werte

$$a = 6377\ 397\ \text{m},$$

$$f = \frac{a-b}{a} = 1/299.15,$$

für die große Halbachse a und die Abplattung f des als Rotationsellipsoid angenommenen Erdellipsoids, dessen kleine Halbachse mit b bezeichnet wird. (Es wird übrigens noch immer in manchen europäischen Ländern, darunter Österreich, verwendet.)

Das 1979 von der Internationalen Assoziation für Geodäsie offiziell empfohlene Geodätische Bezugssystem 1980 hat demgegenüber die Werte

$$a = 6378\ 137\ \text{m},$$

$$f = 1/298.257.$$

Von a nimmt man an, daß seine Genauigkeit 1-2 m beträgt, also relativ in der Größenordnung von 10^{-7} liegt! Das Bessel-Ellipsoid hat damit einen Fehler von etwa 1 km, was härter klingt als die gleichwertige Formulierung, es besitze die Genauigkeit von etwa 10^{-4}

3. Regionale Verfahren: Von der Gradmessung zur Inertialgeodäsie

Baeyer spricht von Gradmessung, von Meridian-Bögen und Parallel-Bögen. In der Tat sind dies klassische Verfahren zur Bestimmung der Erdkugel (seit Eratosthenes, 3. Jh.v.Chr.) und des Erdellipsoids, mit dem Höhepunkt in den historischen Gradmessungen der Französischen Akademie der Wissenschaften in Lappland (Maupertuis, Clairaut) und Peru (Godin, Bouguer, La Condamine) um 1740.

Das Prinzip der Gradmessung ist einfach: bei einem Meridianbogen liefern die Unterschiede in der astronomisch gemessenen geographischen Breite ϕ den Zentriwinkel α :

$$\alpha = \phi_2 - \phi_1 ,$$

und die Messung der entsprechenden Bogenlänge s ergibt den regionalen Krümmungsradius ρ des Meridianbogens:

$$\rho = s/\alpha .$$

Analog ist es bei Parallelkreisbögen.

Ein ähnliches Verfahren läßt sich auch zur Bestimmung des Geoids anwenden. Helmert beschreibt es im 1. Band seines schon genannten Werkes (S. 564 ff.) und nennt es astronomisches Nivellement (2. Band, 1884, S. 599). Heute spricht man gern von astrogeodätischer Geoidbestimmung. Das Prinzip ist einfach: durch astronomische Beobachtung bestimmt man astronomische (geographische) Breite ϕ und Länge Λ : mittels Triangulation erhält man die auf das Ellipsoid bezogene geodätische Breite φ und Länge λ ; und man berechnet daraus die Komponenten ξ (in Nord-Süd-Richtung) und η (in Ost-West-Richtung) der Lotabweichung, d.h. des Winkels zwischen der Lotrichtung und der Ellipsoidnormale (Baeyer spricht von "Ablenkung der Lothlinien"):

$$\xi = \phi - \varphi , \quad \eta = (\Lambda - \lambda) \cos \varphi .$$

Bestimmt man ξ und η entlang eines Profils im Azimut α , so erhält man die Lotabweichung ε in diesem Azimut:

$$\varepsilon = \xi \cos \alpha + \eta \sin \alpha ,$$

deren Integration Differenzen der Geoidhöhe N ergibt:

$$N_2 - N_1 = - \int_{P_1}^{P_2} \varepsilon ds .$$

Das Verfahren ist lokal oder regional: von einem Punkt ausgehend berechnet man N in einem Gebiet, einem Land oder einem Kontinent. Es ist auf Landgebiete beschränkt; drei Viertel der Erdoberfläche, die von den Weltmeeren bedeckt werden, sind für diese Methode unzugänglich. Für die regionale detaillierte Geoidbestimmung ist aber das astronomische Nivellement noch immer die beste Methode: es liefert relative Geoidhöhen mit Genauigkeiten im Dezimeterbereich.

Erst im letzten Jahrzehnt hat dieses klassische Verfahren, das mit Theodoliten und Distanzmeßgeräten auskommt, ein hochmodernes Gegenstück gefunden: die Inertialvermessung. Auch hier ist das Prinzip einfach: mißt man den Beschleunigungsvektor $\ddot{\mathbf{x}} = d^2 \mathbf{x} / dt^2$, so erhält man durch zweimalige Integration nach der Zeit relative Positionen (Differenzen des Koordinatenvektors \mathbf{x}):

$$\mathbf{x}_2 - \mathbf{x}_1 = \int_{t_1}^{t_2} \left(\int_{t_1}^t \ddot{\mathbf{x}}(\tau) d\tau \right) dt$$

Die praktische Realisierung setzt freilich Spitzentechnologie voraus: durch Kreisel stabilisierte Plattformen, hochpräzise automa-

tisch integrierende Beschleunigungsmesser. Das Verfahren ergibt aber ebenfalls Lotabweichungen und auch Schwereanomalien, von denen noch die Rede sein wird.

Schließlich möge aber auch der Theoretiker zu Wort kommen. Baeyers Programm weist mit Ausdrücken wie "Krümmung der Erdoberfläche", "Krümmung der Meridiane", "Ablenkung der Lothlinien" auf allgemeine Untersuchungen über Krümmung von Niveauflächen, Krümmung von Lotlinien und ganz allgemein über die differentialgeometrische Struktur des Erdschwerefeldes hin. Diese fanden ihre Krönung in der "geodesia intrinseca", die Antonio Marussi um 1950 begründete und die später Martin Hotine in seinem Buch "Mathematical Geodesy" (1969) vollendet formulierte.

4. Globale Verfahren: von der Gravimetrie zum globalen Positionierungssystem

Die bisher betrachteten Verfahren haben regionalen Charakter: sie können (und können nur) auf zusammenhängende Landgebiete angewendet werden. Dies entspricht genau dem Charakter einer "Mittel-europäischen" oder auch einer "Europäischen Gradmessung".

Darüber hinaus gibt es aber typisch globale Verfahren, welche Daten auf der ganzen Erdoberfläche voraussetzen, aber auch solche liefern. Dies setzt eine wirklich "Internationale Erdmessung" voraus, deren großer Bahnbrecher, sowohl in wissenschaftlicher als auch in organisatorischer Hinsicht, F.R. Helmert war, Direktor des Zentralbüros dieser Organisation seit ihrer Gründung im Jahr 1887 (eigentlich schon früher, denn er war Nachfolger Baeyers als Direktor des Zentralbüros der Europäischen Gradmessung nach dessen Tod im Jahre 1885).

Bereits im Jahr 1849 hatte der bekannte englische Mathematiker G.G. Stokes die nach ihm benannte Formel veröffentlicht, welche die Geoidhöhe N durch Integration der Schwereanomalien Δg bestimmt. Die Größe Δg ist die Differenz der Meßgröße g , der

tatsächlichen Schwere in Meeresniveau, und der Normalschwere γ , welche für ein gegebenes Bezugsellipsoid exakt berechnet werden kann.

Was aber die Besonderheit der Formel von Stokes ausmacht, ist der Umstand, daß die Schwere g kontinuierlich verteilt auf der ganzen Erdoberfläche bekannt sein muß. Ein Land kann allein mit den Schwereanomalien auf seinem Gebiet nicht einmal ein lokales Geoid rechnen!

Im 2. Band seines bereits zitierten Werkes leitet Helmert die Stokessche Formel ab, aber zur damaligen Zeit gab es noch so wenige Schweremessungen, daß an eine praktische Anwendung gar nicht zu denken war. Erst in den dreißiger Jahren hatten die unermüdlichen Bemühungen um die Sammlung von globalen Schweredaten des großen finnischen Geodäten Weikko A. Heiskanen den ersten Erfolg: sein Doktorand R.A. Hirvonen berechnete 1934 die "kontinentalen Undulationen des Geoids". Weitere Etappen auf Heiskanens Weg waren das Tanni-Geoid (1948-49), auch aus den Schweredaten des Finnischen Geodätischen Instituts berechnet, seine Berufung an die Ohio State University, wo er mit der Sammlung von Schweredaten in wesentlich größerem Umfang fortfahren konnte, und schließlich das gemeinsam mit U.A. Uotila berechnete "Columbus-Geoid" 1957.

Aber auch die Theorie der gravimetrischen Geodäsie hatte eine gewaltige Entwicklung erfahren. Gerade das unermeßlich schwere Jahr 1945 brachte einen glänzenden Lichtblick für die Geodäsie: der sowjetische Geodät und Geophysiker M.S. Molodenski veröffentlichte seine Theorie der direkten gravimetrischen Bestimmung der physischen Erdoberfläche, ohne Umweg über das Geoid. Dadurch konnte man die klassischen Schwerereduktionen, die wegen Unkenntnis der Dichte nicht theoretisch exakt durchgeführt werden konnten, zumindest theoretisch vermeiden. Die dafür benötigten beträchtlichen mathematischen Anforderungen (schiefe freie Randwertaufgaben der Potentialtheorie, singuläre Integralgleichungen) gaben der mathematischen Geodäsie entscheidende Impulse. Aber noch mehr waren es die prinzipiellen Grundgedanken Molodenskis, welche, zusammen mit

der dreidimensionalen differentiellen Geodäsie Marussis, die begrifflichen Grundlagen für die heutige Denkweise der physikalischen Geodäsie schufen. Diese kann kurz als Synthese der Ideen Molodenskis mit der klassischen physikalischen Geodäsie Helmerts bezeichnet werden. In ihr behält auch das Geoid seine wichtige Rolle bei.

Im Jahre 1957 der Publikation des Columbus-Geoids aber erfolgte der Start des ersten künstlichen Satelliten. Die geodätische Nutzung der Satelliten ließ nicht lange auf sich warten: bereits um 1960 war die Erdabplattung mit dem heutigen Wert ($1/298.3$) bekannt, bald wurden globale Geoide berechnet, welche die Großform des Geoids lieferten. Heute kennt man, durch Kombination von Satellitendaten und Schweremessungen, das globale Geoid mit einer Genauigkeit von wenigen Metern.

Aber auch die Lagebestimmung wurde durch die Satellitengeodäsie revolutioniert. Die Stellartriangulation mit Hilfe von Ballons des finnischen Astronomen und Geodäten Väisälä (1946) war noch eine räumliche Verallgemeinerung der terrestrischen Triangulation und hatte als solche regionalen Charakter. Selbst das 1974 abgeschlossene Satelliten-Weltnetz des U.S. National Survey, das unter der maßgeblichen Leitung von Hellmut Schmid erstellt wurde (durchschnittliche Seitenlänge 6000 km, Genauigkeit um ± 4 m, relativ also etwa 10^{-6}) beruhte auf den gleichen Gedanken wie die Stellartriangulation, nämlich simultane Richtungsbestimmung zu Satelliten durch Photographie gegen den Sternenhimmel. Es war also eine Art räumlicher Triangulation, mit Satelliten als Hochzielen, aber ohne Verwendung der Satellitenbahn als solche.

Geozentrische (auf den Erdschwerpunkt bezogene) Koordinaten aber können nur bei Verwendung der Bahn erhalten werden. Solche Methoden reichen vom Doppler-Verfahren bis zum in Entwicklung begriffenen GPS (Global Positioning System) welches verspricht, die Lagebestimmung auf der Erdoberfläche, nicht nur in geodätischer Hinsicht, zu revolutionieren.

Die genauesten Verfahren (Zentimeter über Tausende von Kilometern) wie Laserdistanzen zu Satelliten und Radiointerferometrie mit Hilfe von Quasar-Strahlung (Very Long Baseline Interferometry) können hier nur erwähnt werden.

Kein Wunder, daß sich über diese globalen Verfahren bei Baeyer noch keine Andeutung findet. Vergessen wir aber nicht, daß solche Verfahren nur durch die von ihm eingeleitete internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit möglich geworden sind.

Einen direkten Bezug zu Baeyers Entwurf möchte ich mir aber nicht entgehen lassen. Er spricht von der "Krümmung von Theilen des Mitteländischen und Adriatischen Meeres, der Nord- und der Ostsee". Rein wissenschaftliches Interesse muß ihn zu dieser Fragestellung bewogen haben, und er würde mit Genugtuung zur Kenntnis nehmen, daß wir heute mit Hilfe der Satelliten-Altimetrie das Geoid in allen Weltmeeren auf wenige Dezimeter genau kennen, wesentlich genauer als im allgemeinen auf dem Land!

5. Zeitliche Veränderungen

Die heutigen Meßgenauigkeiten von 10^{-8} , also 1 cm auf 1000 km, oder gar besser (bei der absoluten Schweremessung) gestatten die Bestimmung zeitlicher Variationen, die von etwa 0.5 m/Tag bei den Gezeiten bis zu 3 cm/Jahr bei der Kontinentalverschiebung und bei langfristigen kontinentalen Hebungen oder Senkungen reichen. Daran konnte Baeyer wirklich noch nicht denken. Umso bemerkenswerter ist es, daß sein Nachfolger als Direktor des Zentralbureaus, also Friedrich Robert Helmert, einer der Mitbegründer des Internationalen Breitendienstes war, der in den Jahren 1889-1899 von der Internationalen Erdmessung zusammen mit der Internationalen Astronomischen Union eingerichtet wurde. Dieser, in modifizierter Form noch heute bestehende, internationale Dienst hat die Aufgabe, die zeitlichen Veränderungen der Erdachse innerhalb des Erdkörpers zu bestimmen; er ist gewiß einer der ersten internationalen wissenschaftlichen Einrichtungen überhaupt.

6. "Vereine auf dem Gebiete der Wissenschaft"

Die Hoffnung Baeyers: "Vereine, die im practischen Leben sich so glänzend bewährt haben, werden auf dem Gebiete der Wissenschaft von nicht minder gutem Erfolge begleitet sein", hat sich in der Geodäsie und Geophysik, wie auch auf anderen Gebieten der Wissenschaft, voll erfüllt. Wissenschaftliche Organisationen und internationale wissenschaftliche Zusammenarbeit funktionieren über geographische und weltanschauliche Grenzen hinweg und verbinden Völker auf der ganzen Erde. In der Tat, wissenschaftliche Arbeit ohne internationale Kontakte ist heute undenkbar, und man kann nicht über gemeinsame wissenschaftliche Interessen sprechen, ohne daß sich dabei auch die menschlichen Beziehungen entwickeln. So wirken Wissenschaftler, still und (fast möchte man sagen: glücklicherweise) wenig beachtet, für Verständigung und Frieden.

Anschriften der Autoren

- Prof. Dr. H. Kautzleben
Akademie der Wissenschaften der DDR
Zentralinstitut für Physik der Erde
Telegrafenberg, Potsdam, DDR-1561

- Prof. Dr. T.J. Kukkamäki
Finnisches Geodätisches Institut Helsinki
Ilmalankatu 1 A
SF-00240 Helsinki, Finnland

- Prof. Dr. H. Moritz
Technische Universität Graz
Abteilung für Physikalische Geodäsie
Steyrergasse 17, A-7010 Graz, Österreich

- Prof. Dr. H. Peschel
Thomas-Mann-Str. 43
Dresden, DDR-8020

- Prof. Dr. K. Rinner
Technische Universität Graz
Rechbauerstr. 12
A-8010 Graz, Österreich

- Prof. Dr. H. Stiller
Akademie der Wissenschaften der DDR
Otto-Nuschke-Str. 22/23
Berlin, DDR-1086

NOTIZEN