Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 78 (1960)
Heft: 32

Artikel: Ueber einige internationale und schweizerische Probleme der Geodäsie
Autor: Kobold, F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-64935

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Ueber einige internationale und schweizerische Probleme der Geodäsie

DK 526.1

Von Prof. Dr. **F. Kobold**, ETH, Zürich

Nach einem Vortrag im Zürcher Ingenieur- und Architektenverein vom 28. Oktober 1959

Im 18. und teilweise noch im 19. Jahrhundert gehörte die Kenntnis der Geodäsie, das heisst der Methoden, die dazu dienen, Form und Grösse des Erdkörpers zu bestimmen, zum allgemeinen Bildungsgut jedes Akademikers. Die Entwicklung von Wissenschaft und Technik und neuere Anschauungen über den in den höhern Mittelschulen zu vermittelnden Stoff haben dazu geführt, dass die Geodäsie zu einer ausgesprochenen Spezialwissenschaft geworden ist und dass sich heute nicht einmal mehr die Mehrzahl der Ingenieure und Architekten Rechenschaft über die Unsumme von Arbeit gibt, die es braucht, um eine Landesvermessung korrekt durchzuführen. Dabei müssen sich viele Ingenieure und Architekten täglich mit Karten, Plänen, gelegentlich sogar mit Koordinaten einer Landesvermessung abgeben.

Auch auf dem Gebiete der Geodäsie haben sich in den letzten Jahrzehnten und Jahren bedeutende Umwälzungen vollzogen. Es stehen heute Instrumente und Messmethoden zur Verfügung, die früher kaum denkbare Genauigkeiten bei kleinem Arbeitsaufwand liefern.

Zunächst soll der Begriff der Geodäsie umschrieben werden. Der berühmte deutsche Geodät Helmert definiert in seinem grundlegenden Werk über die Höhere Geodäsie das Gesamtgebiet der Geodäsie als die Wissenschaft von der Ausmessung und Abbildung der Erdoberfläche. Die Ausmessung soll die grundlegenden Ausgangspunkte liefern, auf die sich Karten und Pläne, aber auch Bauabsteckungen stützen, und unter Abbildung der Erdoberfläche wird der mathematische Vorgang der Zuordnung von Punkten auf der sehr unregelmässigen Erdoberfläche zu Punkten auf einer geeigneten Bezugsfläche verstanden.

Für die Ausmessung der Erdoberfläche werden zwei Arten von Grössen beobachtet, nämlich Winkel und Strecken. Kennt man in einem Gebiet eine Strecke und reiht man an diese Strecke ein Dreieck nach dem andern, wobei in den Dreiecken die Winkel gemessen werden, so spricht man vom Verfahren der Triangulation. Kennt man das Gesetz der Zuordnung der Punkte auf der Erdoberfläche — d. h. der Punkte, in denen die Winkel gemessen werden — zu den Punkten auf der Bezugsfläche (meistens ein Rotationsellipsoid), so lassen sich die Koordinaten aller Ecken der Dreiecke auf der Bezugsfläche rechnen. Misst man dagegen in einem derartigen Dreiecksnetz an Stelle der Winkel alle Seiten, so spricht man vom Verfahren der Trilateration. Kennt man auch hier das Gesetz der Zuordnung der Oberflächenpunkte zu den Punkten auf der Referenzfläche, so lassen sich aus den gemessenen Seiten ebenfalls die Koordinaten aller Ecken rechnen. Rationelle Verfahren entstehen durch Kombination von Winkel- mit Seitenmessungen. Im einfachsten Fall handelt es sich um Polygonzüge.

Soll in einem grösseren Gebiet eine Vermessung durchgeführt werden, so wird man grundsätzlich vom Grossen ins Kleine arbeiten. Man misst also zunächst die Dreiecke mit langen Seiten und zwängt Dreiecke mit immer mehr abnehmender Seitenlänge ein. Man erreicht so, dass die einzelnen Aufnahmegebiete in ihrer gegenseitigen Lage richtig sind. Würde man dagegen mehrere kleine Gebiete für sich behandeln und nachher aneinander reihen, so wäre mit Fehlern in der gegenseitigen Lage zwischen dem zuerst und dem zuletzt bearbeiteten Gebiet zu rechnen, die den praktischen Gebrauch des Vermessungwerkes in Frage stellen könnten.

Das Gesamtwerk der Geodäsie wird unterteilt in die höhere Geodäsie, in die Landesvermessung und in die Detailvermessung.

Die *höhere Geodäsie* befasst sich grundsätzlich mit Fragen des ganzen Erdkörpers. Sie musste sich aus praktischen Gründen bisher auf die Vermessung von Kontinenten beschränken, für deren Zusammenfügen erst in den letzten Jahren geeignete Methoden gefunden worden sind.

Die *Landesvermessung* befasst sich mit der Schaffung von Ausgangspunkten für die Detailvermessung des Landes. Zur Landesvermessung gehört in der Regel auch die Publikation von Karten in Masstäben von 1:10 000, 1:20 000 oder 25 000, 1:50 000 usw.

Zu den kostspieligsten und wertvollsten Werken eines Landes gehört die *Detailvermessung*. Sie wird in den meisten Staaten in der Form einer Kataster- oder Grundbuchvermessung durchgeführt und dient zunächst zur Sicherung der Eigentumsgrenzen am Boden. In vielen Fällen wird jedoch die Detailvermessung in der Art durchgeführt, dass die Pläne in den Masstäben 1:2000, 1:5000 oder 1:10 000 nicht nur die Eigentumsgrenzen enthalten, sondern auch Aufschluss über Bodenform und über Bodenbedeckung geben.

Im folgenden sollen nur Fragen der *höheren Geodäsie,* der Erdmessung, berührt werden, ohne welche nach heutigen Begriffen eine Landesvermessung, ja gelegentlich sogar eine Detailvermessung kaum durchführbar ist.

Es ist nicht übertrieben, wenn an den Anfang der folgenden Ausführungen die Feststellung gesetzt wird, dass auf dem Gebiete der praktischen Erdmessung in den Jahren seit dem zweiten Weltkrieg mehr geleistet wurde als je in einer gleich langen, ja in viel längeren Epochen zuvor. Wenn wir uns vergegenwärtigen, dass heute neben zahlreichen kürzeren Längs- und Querketten eine durchgehende Triangulationskette sich über den nord- und den südamerikanischen Kontinent erstreckt, dass eine Kette vom Nildelta durch ganz Afrika bis zum Kap der guten Hoffnung gemessen wurde, die im Norden an Kreta und damit an die europäische Triangulation anschliesst, dass sich quer durch Asien mehrere parallele Ketten in Bearbeitung befinden, von denen die eine, nämlich die von der Westgrenze Polens bis Wladiwostock schon einige Zeit vor dem zweiten Weltkrieg vollendet war, so werden wir uns über Leistungen bewusst, die früher undenkbar gewesen wären. Auch die geodätische Kenntnis der Polgebiete hat infolge der allgemeinen Erforschung im Rahmen des geophysikalischen Jahres riesige Fortschritte gemacht. Dabei muss ausdrücklich betont werden, dass es sich bei allen diesen Arbeiten in verschiedenen Kontinenten und in Arktis und Antarktis nicht um Extensivvermessungen, d. h. um Vermessungen geringer Genauigkeit handelt, sondern dass im allgemeinen Genauigkeiten vorliegen, die nicht unter denjenigen etwa der europäischen geodätischen Werke liegen. Die bei diesen weltweiten geodätischen Operationen angewandten Beobachtungs- und Berechnungsmethoden genügen daher modernsten Ansprüchen, ja bei manchen Arbeiten wurden bereits Prinzipien zu Grunde gelegt, die bei den klassischen Arbeiten zwar bekannt, die aber noch nicht in die Praxis eingeführt waren. Man denke etwa an die zweckmässige Einschaltung zahlreicher astronomischer Punkte in die grossen russischen und amerikanischen Netze und an gravimetrische Methoden zur Berücksichtigung von Lotabweichungen.

Als Ursache dieser raschen Entwicklung der praktischen Geodäsie ist in erster Linie das Bedürfnis der grossen Länder nach genauen Vermessungsunterlagen anzuführen. Die hohe Genauigkeit wird nicht im Hinblick auf die neuen Kartenwerke verlangt, sondern in vielen Fällen sind die Bedürfnisse der Luftfahrt und manche militärischen Forderungen — denken wir etwa an interkontinentale Raketen — ausschlaggebend.

Es ergibt sich aus diesen Ausführungen, dass an den neuen grossen Arbeiten, die sich über Kontinente erstrecken, in erster Linie Grosstaaten beteiligt sind. Besondere Anerkennung verdienen hier die Vereinigten Staaten von Amerika, im speziellen deren Army Map Service, der zusammen mit dem Coast and Geodetic Survey und mit Beizug zahlreicher privater Unternehmungen die erwähnten Arbeiten in Nord- und Südamerika, in Afrika, in der Arktis und Antarktis ausführte. Einen Begriff vom Umfang dieses Dienstes gibt die Tatsache, dass für Arbeiten ausserhalb der Vereinigten Staaten vom Army Map Service ständig etwa 20 000 Personen beschäftigt sind. Der zweite Grosstaat, der auf dem Gebiete der Geodäsie ausgezeichnete grosszügige Arbeiten geleistet hat, ist die Union der Sowjet-Republiken. Die Netze erster Ordnung Sowjetrusslands, begonnen in den zwanziger Jahren, sind auf der Erde wohl bisher die einzigen ausgedehnten, wo versucht wurde, für die Mehrzahl der Punkte Lotabweichungen einzuführen, wobei die Bestimmung dieser Grössen entweder mit Hilfe astronomischer Beobachtungen oder mit Hilfe von Schweremessungen erfolgte. Ausser den USA und der Sowjetunion haben namentlich Grossbritannien und Frankreich auf dem Gebiet der weiträumigen Geodäsie Bemerkenswertes geleistet.

Es ist selbstverständlich, dass im Zusammenhang mit diesen weltweiten Arbeiten die technischen Verfahren zahlreiche Verbesserungen erfahren haben. Dabei darf nicht vergessen werden, dass der grösste Teil der geodätischen Arbeiten immer noch nach den klassischen Methoden durchgeführt worden ist, in erster Linie nach der Methode der Triangulation. Wenn heute Triangulationen viel rascher durchgeführt werden können als früher, so liegt der Grund nicht darin, dass man heute über bessere Theodolite und über elektronische Rechenmaschinen verfügt; vielmehr haben zunächst die neuen Möglichkeiten für rasche Transporte als Ursache des rascheren Fortschreitens solcher Arbeiten zu gelten. Mit Flugzeugen und Helikoptern ist es heute möglich, Vermessungsgruppen innert kürzester Zeit von einem Punkt an einen um hundert und mehr Kilometer entfernten, durch Berge und Meere vom ersten getrennten Punkt zu transportieren. Von nicht minder grosser Bedeutung für die Entwicklung der praktischen Geodäsie dürfte jedoch der Umstand sein, dass neben die klassischen Methoden, deren Bedeutung vielleicht etwas abgenommen hat, neue Verfahren getreten sind, die in mancher Richtung umwälzend wirken. Hier scheinen namentlich drei Neuerungen von besonderer Bedeutung, die im folgenden kurz skizziert werden sollen, nämlich erstens die elektronische Distanzmessung, zweitens die Möglichkeit geodätischer Messungen mit Hilfe von künstlichen Satelliten und drittens die elektronische Rechnung.

Nichts charakterisiert den heutigen Stand der Geodäsie wohl besser als die seit kurzem möglich gewordene elektronische Distanzmessung. Man unterscheidet für geodätische Zwecke die Distanzmessung auf grosse Entfernungen von 200 bis 400 km von der Distanzmessung auf Entfernungen von 2 bis 40 km. Als Geräte für die Messung der grossen Distanzen sind etwa die Shoranapparaturen und für die Messung der kurzen Distanzen Geräte wie *Geodimeter* oder *Tellurometer* repräsentativ.

Die elektronischen Verfahren zur Bestimmung von Entfernungen wurden zur Hauptsache nach dem zweiten Weltkrieg entwickelt. Sie beruhen ohne Ausnahme auf dem Prinzip des Radars, wenn auch die Einzelheiten voneinander abweichen. Die Distanzmessung wird demnach zurückgeführt auf die Messung von Zeiten, insbesondere von Zeitdifferenzen, wobei diese mit sehr hohen Genauigkeiten bestimmt werden müssen.

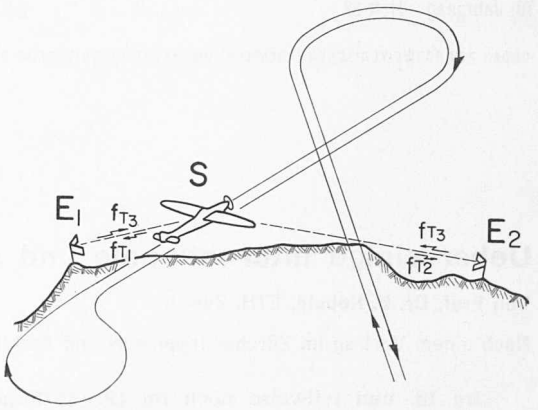

Bild 1. Schematische Darstellung der Distanzmessung nach dem Shoran-Verfahren. S = Flugzeug mit Impulsgeber und -empfänger. E_1, E_2 = Bodenstationen

Die *Shoranmethode* besteht darin, dass ein Flugzeug mehrere Male ungefähr längs der Mittelsenkrechten zu der zu bestimmenden Strecke fliegt und von verschiedenen Punkten aus Impulse sendet (Bild 1). Diese Impulse werden von Geräten in den Endpunkten der Strecke zum Flugzeug reflektiert. Im Flugzeug wird die Zeitdifferenz zwischen Impulsabgabe und Impulsankunft gemessen und aus dieser Differenz wird die schiefe Entfernung zwischen Flugzeug und Bodenstation gerechnet. Notwendig ist dabei die Kenntnis der Höhe des Flugzeuges, die normalerweise mit einem barometrischen Höhenmesser genügend genau ermittelt werden kann. Da bei den heutigen elektronischen Geräten die Genauigkeit der Zeitdifferenzbestimmung $5 \cdot 10^{-8}$ Zeitsekunden beträgt, wird die Strecke vom Flugzeug zum Erdpunkt auf ungefähr 15 m genau ermittelt. Addiert man die beiden Strecken vom Flugzeug zu den zwei Erdpunkten, so ergibt sich aus den zahlreichen Summen ein minimaler Wert, und aus diesem Minimum lässt sich die gesuchte Strecke auf der Erdoberfläche errechnen. In der Regel wird achtmal längs der Mittelsenkrechten geflogen und der Mittelwert aller Bestimmungen wird dann eine Genauigkeit von etwa 5 m aufweisen.

Durch die Ausgleichung eines ganzen Netzes wird diese Genauigkeit meistens auf 3 m erhöht. Die Genauigkeit der Methode ist recht befriedigend, sobald man bedenkt, dass die klassische Triangulation auf Entfernungen von 200 bis 400 Kilometer kaum bessere Ergebnisse liefert, wenn nicht zahlreiche Basislinien mit Vergrösserungsnetzen in das Netz einbezogen werden. So erlaubt die Shoranmethode, in übergrossen Dreiecken anstelle der Winkel, die überhaupt nicht gemessen werden könnten, die Seiten zu bestimmen. Anstelle der Triangulation tritt die Trilateration. Die Shoranmethode hat Anwendung gefunden zur Erstellung grossmaschiger Netze in ausgedehnten, bisher unvermessenen Gebieten wie Kanada und Australien, wo heute noch geodätische Grundlagen zu einer Vermessung fehlen würden, wenn man die Arbeiten nach der klassischen Methode der Triangulation ausführen müsste. Die Methode hat aber auch dazu gedient, um die gegenseitige Lage von Kontinenten besser als bisher zu bestimmen, indem beispielsweise eine Trilateration gemessen wurde, die sich von Kanada über Baffinland-Grönland-Island-Schottland bis Norwegen und Dänemark erstreckt. Eine weitere Trilateration verbindet den nord- und südamerikanischen Kontinent über die Karibische See, und endlich werden Griechenland, die Türkei und Aegypten durch eine Shoran-Triangulation miteinander verbunden (Bild 2).

Die zur Messung der kürzeren Distanzen von 2 bis 40 km bestimmten Geräte wie Geodimeter und Tellurometer geben viel höhere Genauigkeiten. Aehnlich wie beim Shoranverfahren sind auch hier die mittleren Fehler nur wenig von der Distanz abhängig. Sie liegen für eine Distanz von 30 km beim Geodimeter bei etwa 3 bis 5 cm, beim Tellurometer bei etwa 10 cm.

Diese Genauigkeiten sind sehr hoch. Man erkennt das leicht, sobald man sich vergegenwärtigt, dass auf 30 km Distanz eine Querabweichung von 5 cm einem Winkel von 1,0^{cc} entspricht. Das ist eine Winkelgenauigkeit, die nicht ohne grossen Beobachtungsaufwand zu erreichen ist und ungefähr den Winkelfehlern in Netzen erster und zweiter Ordnung entspricht. Es ist daher vorgeschlagen worden, die Winkelmessung der klassischen Triangulationen erster und zweiter Ordnung mit Seitenlängen von 20 bis 40 km durchwegs durch Seitenmessungen zu ersetzen. Doch darf man neben den Vorteilen der elektronischen Distanzmessung, die namentlich darin bestehen, dass man von Nebel und Wolken unabhängig ist, wodurch die Beobachtungsdauer herabgesetzt werden kann, die Nachteile nicht ausser Acht lassen. Sie bestehen hauptsächlich darin, dass die Zielpunkte ständig durch ausgebildetes Personal besetzt sein müssen, was einen ziemlichen Bedarf an Beobachtern und Hilfskräften zur Folge hat. Im Gegensatz zur vollständigen Trilateration, bei der in einem Netz alle Seiten gemessen werden, hat daher in manchen Ländern die Methode der Polygonierung mit 20 bis 40 km langen Seiten Eingang in die Praxis gefunden, wobei die Distanzen mit elektronischen Geräten, die Winkel mit Theodoliten gemessen werden. Derartige Polygonzüge werden in Punkte, die nach der Shoranmethode bestimmt wurden, eingezwängt.

Wird auch die Methode der elektronischen Distanzmessung für Streckenlängen von 10 bis 40 km in manchen Ländern bereits praktisch verwendet, so dürfen doch einige kritische Bemerkungen nicht unterdrückt werden.

Zunächst ist darauf hinzuweisen, dass eindeutige, gute Ergebnisse bisher nur im Flachland erzielt worden sind. Im Gebirge werden die hohen Genauigkeiten nur ereicht, wenn die Stationspunkte auf Gipfeln oder auf Gratlinien liegen, und auch dann können gelegentlich grosse Fehler auftreten. Liegen die Stationspunkte dagegen in Hängen, so treten häufig störende Reflexionen am Hang auf, die das Resultat grob verfälschen können. Gerade im Gebirge aber dürfte die Messung von Distanzen mit dem Tellurometer oder mit ähnlichen Geräten von besonderem Interesse sein. Bei vorsichtiger Beurteilung der heutigen Ergebnisse wird man daher zögern, elektronische Distanzmessgeräte im Gebirge einzusetzen, sofern nicht von Gipfel zu Gipfel gemessen werden kann. Dem Wissenschafter und dem Praktiker stellt sich die Aufgabe, das Verhalten und die Einsatzmöglichkeiten der elektronischen Distanzmessgeräte im Gebirge näher abzuklären.

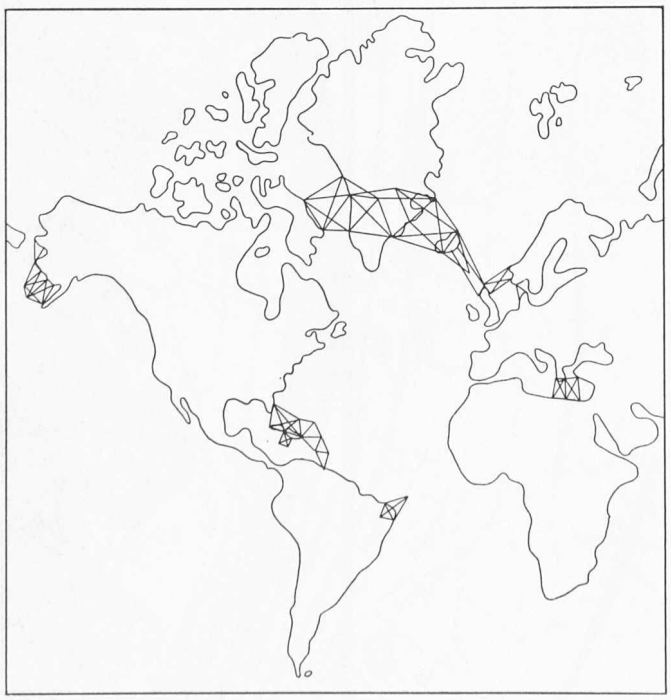

Bild 2. Uebersicht über die nach der Shoran- und Hiranmethode ausgeführten Trilaterationen

Eine zweite Bemerkung betrifft die von verschiedenen Stellen publizierten Genauigkeiten und Eichwerte. An der hohen innern Genauigkeit, die bei guten Witterungsverhältnissen erzielt werden kann, ist nicht zu zweifeln. Dagegen darf man über die Uebereinstimmung zwischen elektronisch bestimmten und geodätisch ermittelten Distanzen etwas erstaunt sein. Es ist selbstverständlich, dass eine Vergleichung nur in ausgezeichneten Basisvergrösserungsnetzen und nicht an beliebigen Stellen des Triangulationsnetzes erfolgen darf, weil beliebige Seiten infolge Einflüssen mancherlei Art verfälscht sein können. Nun geht aus englischen und aus deutschen Publikationen hervor, dass nach Ermittlung des Eichwertes der Geräte die Differenzen in den Distanzen zwischen der Berechnung im Vergrösserungsnetz und der direkten Bestimmung mittels Tellurometer oder Geodimeter auch bei den längsten Seiten von bis zu 60 km unter 5 cm bleiben. Bedenkt man, dass die mittleren Fehler solcher Seiten im Vergrösserungsnetz etwa ±20 cm betragen können, so sind diese Differenzen doch etwas klein. Man tut deshalb gut, wenn man für die praktische Anwendung der Geräte die in der Literatur gegebenen Genauigkeitswerte als besonders günstige betrachtet. Doch geht aus diesen Eichungen und Versuchsmessungen als Tatsache einwandfrei hervor, dass nur die allerbesten, nach der klassischen Methode gemessenen Basisvergrösserungsnetze geeignet sind, einigermassen zuverlässige Eichwerte zu liefern; ja man kommt um die Erkenntnis nicht herum, dass die elektronische Distanzmessung Genauigkeiten zu liefern vermag, die mit den klassischen Methoden kaum erreicht werden können. Man wird daraus einerseits folgern, dass die heute zur Verfügung stehenden Eichwerte als nicht sehr sicher anzusehen sind. Bereits sind daher mit dem Geodimeter geodätische Basislinien und Basisnetze gemessen worden, die als Grundlage für Vermessungen dienen, ohne dass eine zusätzliche Messung mit Drähten erfolgte. Als Eichwerte wurden die durch Laborversuche gewonnenen Werte eingeführt. Man darf überdies aus den erzielten hohen Genauigkeiten schliessen, dass mindestens bei günstigen Witterungsverhältnissen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Luft und der Wellenweg sich mit sehr guter Annäherung errechnen lassen.

Als zweites umwälzendes Element der Geodäsie wurde eingangs die *Erdmessung mittels künstlichen Erdsatelliten* erwähnt, und es soll nun deren Rolle betrachtet werden. Könnte man sich auf die Angaben der illustrierten Zeitungen stützen, so müsste ein grosser Teil der heutigen Karten neu gezeichnet werden, sobald die Ergebnisse der Erdvermessung mit Hilfe künstlicher Satelliten vorliegen. Damit ist jedoch nicht zu rechnen. Aber es besteht kein Zweifel, dass die mit Hilfe von Satelliten möglichen Messungen dazu beitragen, Erdgrösse und Erdform besser als bisher zu bestimmen. Manche Methoden sind hier denkbar; keine ist fertig ausgebaut und ein abschliessendes Urteil wird man sich noch nicht erlauben dürfen.

Als erste Methode kommt die Beobachtung der Satelliten von der Erde aus in Frage. Dabei kann es sich um gleichzeitige Winkelmessungen von vielen Erdpunkten aus handeln. Es kann sich aber auch um Beobachtungen nach dem Verfahren der Sternbedeckungen handeln, eine Methode, die in der klassischen Astronomie namentlich für den Mond entwickelt worden ist. Entsprechende Beobachtungen mit künstlichen Erdsatelliten versprechen infolge der grösseren Erdnähe und der genau bekannten Masse bessere Ergebnisse als Mondbedeckungen. Doch erwartet niemand von der Verfeinerung dieser Methode umwälzende Ergebnisse; sie wird aber zusammen mit andern Verfahren wertvoll sein.

Die Methode der Winkelmessungen nach künstlichen Satelliten scheint für *eine* Grösse einen besseren Wert zu liefern als er bisher bekannt war, nämlich für die Erdabplattung. Die bisherigen Werte schwankten zwischen 1:296 bis 1:300 und als mittlerer Fehler wurde etwa eine Einheit der letzten Ziffer des Nenners angegeben. Beobachtungen nach Erdsatelliten geben sowohl nach amerikanischen als auch nach russischen Bestimmungen einen Wert von 1:298,2, wobei die Genauigkeit rund 10 mal grösser ist als diejenige der früheren Werte. Dieser Wert stimmt zudem recht gut mit dem Wert überein, der aus Schweremessungen, d. h. aus der Bestim-

mung der Erdbeschleunigung für verschiedene Punkte der Erdoberfläche gewonnen wird. Da sowohl die Schwerebeobachtungen als auch die Beobachtungen der Satelliten jedoch von der Erdoberfläche aus erfolgen und nicht von den zugehörigen Ellipsoidpunkten aus, ist auch der neue Wert nicht über alle Zweifel erhaben.

Mehr Erfolg verspricht man sich von einer zweiten Methode, bei der Distanzen vom Satelliten zu verschiedenen Punkten der Erde gemessen werden. Ein Sender im künstlichen Satelliten sendet Impulse, die von verschiedenen Punkten auf der Erde aufgefangen werden. Gemessen werden die Differenzen zwischen den Ankunftszeiten der Impulse in verschiedenen Erdstationen. Für diese Differenzen lassen sich Beobachtungsgleichungen aufstellen, die als Unbekannte die Entfernungen zwischen den Erdstationen und die Elemente der Bahn des künstlichen Satelliten enthalten. Die Ausgleichung gibt die Elemente der Bahn und die Distanzen zwischen den Erdpunkten. Wie früher dargelegt wurde, liefert die elektronische Distanzmessung recht hohe Genauigkeiten, so dass die Bestimmung der Lage weit auseinanderliegender Punkte nur mit kleinen Fehlern behaftet sein sollte. Die Methode hat demnach besondere Bedeutung für die Ueberbrükkung von Ozeanen. Sie dürfte bessere Ergebnisse liefern als die elektronische Distanzmessung auf der Erde selbst, weil mit weniger Refraktionsstörungen zu rechnen ist.

Das Verfahren zur Bestimmung der gegenseitigen Lage von Punkten auf der Erdoberfläche mit Hilfe von Sendungen aus Satelliten wurde im vergangenen Jahr, wenn auch noch in recht unvollkommener Form, ausprobiert. Es fand praktische Anwendung bei den geodätischen Vermessungen in der Antarktis und es trug zu der Nachricht bei, die auch in den meisten unserer Blätter zu lesen war, dass der Erdkörper unter dem Gebiete des Südpols eine bedeutende Aufwölbung aufweise, eine Tatsache, die bereits früher bekannt war, wobei man allerdings den Betrag nicht kannte.

Eine dritte Methode besteht im Aufnehmen von Photos, die von Erdsatelliten oder von hochfliegenden Flugkörpern aus gegen die Erde gemacht werden. Solche Aufnahmen geben vermutlich Aufschluss über die Form der Ozeane, die derart photographiert werden müssen, dass einzelne interessante Profile am Horizont erscheinen.

So darf behauptet werden, dass die künstlichen Satelliten uns von der Erdform und von der Erdgrösse zuverlässigere Angaben liefern werden, als wir sie heute besitzen.

Doch weisen bereits die heute bekannten Werte für die Erddimensionen eine beachtenswerte Genauigkeit auf. Denn es erstaunt, festzustellen, in welch hohem Masse die vielen Berechnungen, die in den letzten Jahren zur Ableitung der Erddimensionen unternommen worden sind, übereinstimmen. Weicht etwa das Ellipsoid von Bessel aus dem Jahre 1941 noch um rund einen Kilometer im Aequator- und im Polradius ab vom sogenannten internationalen von Hayford aus dem Jahre 1924 und weist dieses internationale Ellipsoid Differenzen von 140 m im Aequatorradius und von 50 m im Polradius auf mit dem Ellipsoid von Krassowski aus dem Jahre 1946, so geben die neueren amerikanischen Bestimmungen (1956) Werte, die nur um 25 m im Aequator- und nur 17 m im Polradius vom Krassowski-Ellipsoid abweichen.

Die Uebereinstimmung ist aus zwei Gründen erstaunlich. Zunächst deswegen, weil das zu bestimmende Ellipsoid nicht überall in gleicher Weise definiert wird, und die Beobachtungen daher auf verschiedene Weise reduziert wurden, und sodann aus dem Grunde, weil die Länder mit verschiedenen Masstäben in ihren Triangulationsnetzen arbeiten. Denn die erwähnten 25 m machen gegenüber dem Erdradius einen Bruchteil von $^1/_5$ Millionstel aus, was bei einer Strecke von 1 km einem Betrage von 5 mm entspricht, und das ist wohl die höchste Genauigkeit, mit der Seiten in Triangulationsnetzen gemessen werden können. Die Uebertragungsfehler durch die Triangulation müssen demnach als sehr gering angesehen werden.

Eingangs wurde als bedeutendste Neuerung der Geodäsie neben den elektronischen Distanzmessgeräten und den künst-

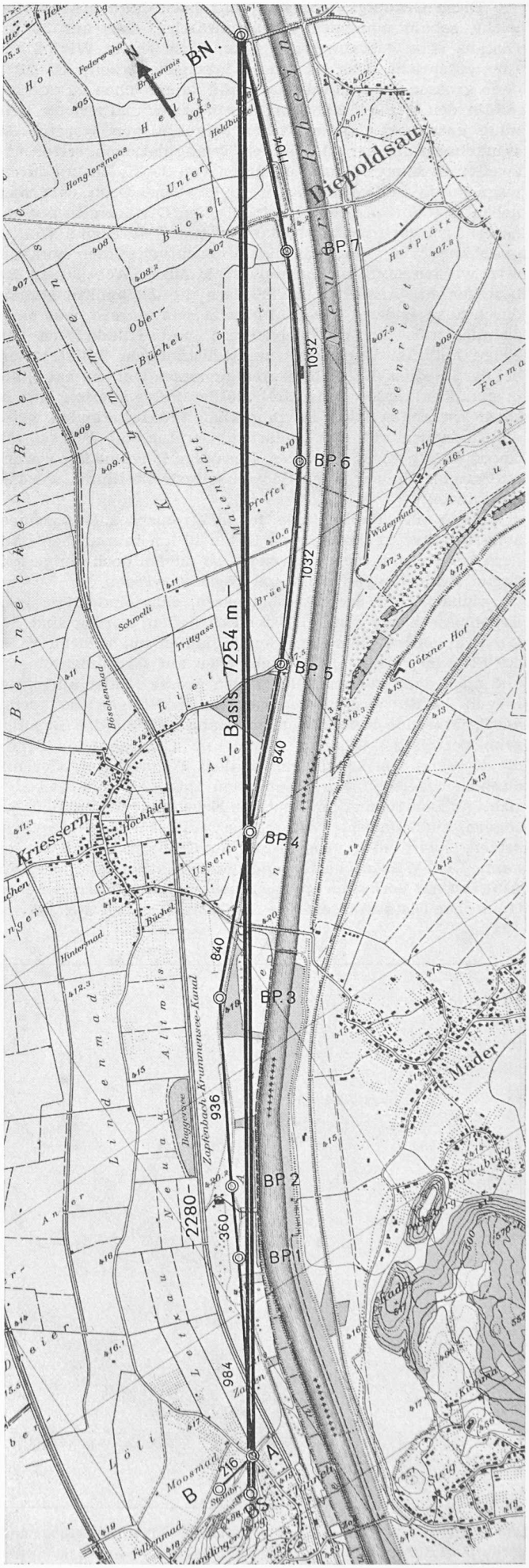

Bild 3. Basis Heerbrugg im Rheintal, Basis-Polygon 1:30 000

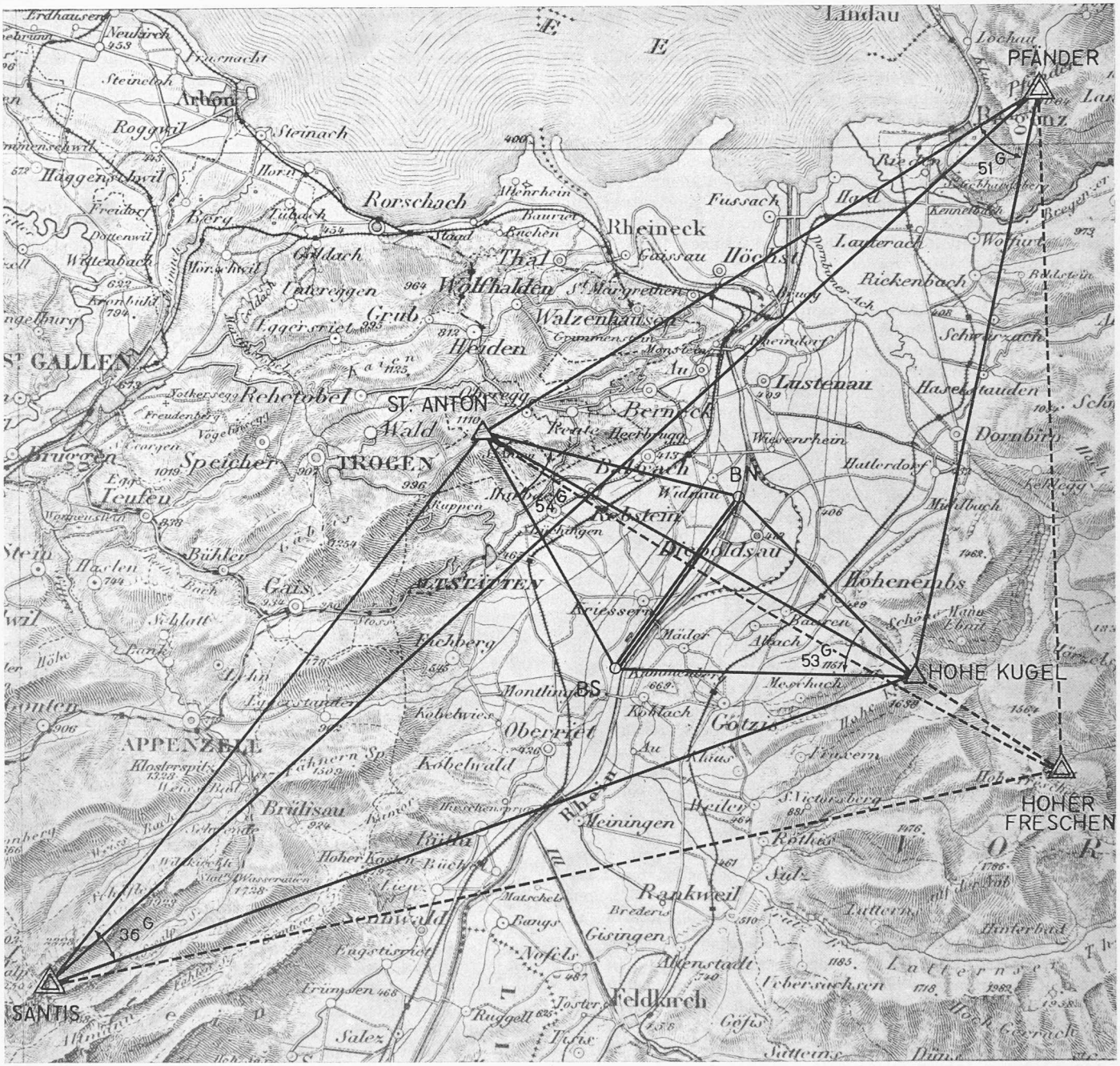

Bild 4. Vergrösserungsnetz zur Uebertragung der direkt gemessenen Basis Heerbrugg auf die Dreieckseiten erster Ordnung Pfänder-Hoher Freschen-Säntis

Bilder 3 und 4 reproduziert mit Bewilligung der Eidg. Landestopographie vom 3. 8. 1960

lichen Satelliten das elektronische Rechnen erwähnt. Für die Geodäsie liegt die *Bedeutung des elektronischen Rechnens* in der raschen Ermittlung von Richtungen, Azimuten und Koordinaten, geographischen und ebenen, und namentlich in der Möglichkeit, auch sehr grosse Systeme von Gleichungen auflösen zu können. Die Ausgleichung von sehr grossen Netzen in einen Guss ist nur möglich durch den Einsatz grosser elektronischer Rechenautomaten.

Angesichts dieser Entwicklung der internationalen Geodäsie drängt sich die Frage nach den *schweizerischen geodätischen Problemen* auf.

Unser kleines Land konnte bisher keine Beiträge zur Bestimmung der Erdgrösse und der Erdform im Grossen liefern und es wird das auch in Zukunft nicht tun können. Trotzdem ist der schweizerische Anteil an der Erforschung der mathematischen Erdform nicht als gering zu beurteilen; die Feststellung des Geoides im Kleinen, die gerade bei uns im alpinen Raum gepflegt wurde, hat in internationalen Geodätenkreisen immer wieder Beachtung gefunden. Solche Untersuchungen sollen auch in Zukunft weitergeführt werden.

Zur Zeit drängen jedoch geodätische Probleme anderer Art auf eine rasche Lösung. Es sind Probleme, die sich im Rahmen der europäischen Geodäsie stellen. Sie betreffen die *Beiträge unseres Landes* zum europäischen Nivellementsnetz und zur europäischen Triangulation.

Die Internationale Assoziation für Geodäsie hat es unternommen, die *Nivellementsnetze der europäischen Länder* zusammenzuschliessen und als Ganzes auszugleichen. Der Zweck des Unternehmens besteht darin, einheitliche Höhen für den ganzen Kontinent zu schaffen. Die Schweiz hat die Ergebnisse ihrer Nivellemente und Schweremessungen, die zu den besten zu zählen sind, beigesteuert.

Auf die Schwierigkeiten, die sich daraus ergeben, dass die Meereshöhen in verschiedener Art definiert werden können, soll hier nicht eingetreten werden. Doch darf erwähnt werden, dass die von der Internationalen Assoziation für Geodäsie angenommenen Rechenvorschriften von allen Fachleuten als sehr zweckmässig bezeichnet werden.

Zur Zeit stehen die Rechenzentren, welche diese Ausgleichungen durchführen, vor der Schwierigkeit, geeignete

Nullpunkte einzuführen, weil es sehr fraglich ist, welche europäischen Pegel am ehesten dem Mittelwasser der Ozeane entsprechen. Hoffentlich lässt sich dieses Problem bald in zufriedenstellender Weise lösen, damit den Ländern die neuen internationalen Koten zur Verfügung gestellt werden können. Und hoffentlich wird es dann im Schlussbericht nicht mehr heissen, wie vor rund 60 Jahren, als eine erste Ausgleichung des europäischen Nivellementsnetzes durch Börsch unternommen wurde, der schweizerische Anteil am internationalen Netz gehöre zu den schwächsten Elementen; ein Urteil, das aus verschiedenen Gründen schon deshalb nicht richtig war, weil keinerlei Schwerereduktionen in die Ausgleichung eingeführt worden waren.

Es wird sich dann für die Schweiz die Frage stellen, ob sie die Gebrauchshöhen, die man schon vor 50 Jahren als provisorisch ansah, ändern will, um ein einheitliches, modernes System zu erhalten. Dem Vorteil eines solchen Systems stehen natürlich grösste Nachteile gegenüber, weil jede Aenderung an den Grundlagen auf Jahre hinaus Unsicherheiten zur Folge hat. — Immerhin sei bemerkt, dass Frankreich bereits über die Art und Weise, wie Nivellementshöhen publiziert werden sollen, Beschluss gefasst hat, und zwar hat es sich zu einem System entschlossen, das dem der sogenannten Helmert-Höhen ähnlich ist. Bekanntlich hat sich unser Prof. *C. F. Baeschlin* seit Jahren für diese Art von Höhen eingesetzt. — Aus einer Notiz über die russischen Landesnivellemente geht hervor, dass der Staat dort bereits in den vierziger Jahren das System der Helmert-Höhen, allerdings unter anderm Namen, vorgeschrieben habe.

Ein weiteres Problem entsteht für die Schweiz durch den Entschluss der Internationalen Assoziation für Geodäsie, die europäischen Triangulations-Ländernetze zu einem einheitlichen Ganzen zu vereinigen. Eine erste Ausgleichung der europäischen Netze wurde in den Jahren nach dem Krieg vom amerikanischen Coast and Geodetic Survey durchgeführt. Sie befriedigte nicht, weil die erzielte Genauigkeit für einzelne Länder unter derjenigen lag, die den bestehenden Netzen ohne Zweifel innewohnte. Die neue Berechnung soll deswegen grundsätzlich wieder mit den bestehenden Ländernetzen erfolgen; notwendig sind zur Erzielung eines guten kontinentalen Netzes jedoch zusätzliche Messungen. Diese umfassen bessere Anschlüsse zwischen benachbarten Ländern, die Vermehrung der Laplace-Punkte und das Einlegen weiterer genauer Basislinien mit Vergrösserungsnetzen.

Was zunächst die besseren Anschlüsse zwischen den Ländern betrifft, so hat die Eidg. Landestopographie in den letzten Jahren das schweizerische Netz zweckmässiger als bisher mit den Netzen der Nachbarländer verbunden, namentlich längs der Bündner und Walliser Grenzen und im Raum Basel. Die Vermehrung der Laplace-Punkte soll in den nächsten Jahren in Angriff genommen werden: unser Land ist an solchen nicht gerade reich; wir besitzen als moderne Punkte ausser dem Nullpunkt nur die Rigi, und dieser Punkt ist noch nicht einmal ganz fertig beobachtet.

Von besonderer Bedeutung für die Schweiz ist nun aber die dritte Forderung, nämlich die Erstellung neuer Basen mit Basisvergrösserungsnetzen. Sie gab Anlass dazu, dass eine neue Basislinie in unserm Land im September 1959 gemessen wurde. Die Basis liegt im untern Rheintal in der Gegend von Heerbrugg und wird durch ein Vergrösserungsnetz auf die Seiten des Netzes erster Ordnung Säntis—Pfänder, Säntis—Hoher Freschen und Pfänder—Hoher Freschen übertragen. Zwei gewichtige Gründe lagen vor, um in diesem Gebiet eine neue Basis zu messen. Die erste bestand darin, dass die Netze der Länder Deutschland, Oesterreich und Schweiz im Raume des Bodensees und des untern Rheintals nicht sehr gut übereinstimmen. Diese Feststellung ist keineswegs neu, wollte doch schon in den Jahren 1880 bis 1885 die Basis Weinfelden nicht mit den Basen von Aarberg und von Bellinzona übereinstimmen. Man hat sie namentlich deshalb zur Mittelbildung mitverwendet, weil sie zufälligerweise recht gut mit der damals neu gemessenen Basis von Bonn zusammenstimmte.

Der zweite Grund ergibt sich aus dem Bedürfnis, zur Eichung von elektronischen Distanzmessgeräten über ausgezeichnete Prüfstrecken zu verfügen. Ein derartiges Netz mit vielen Prüfstrecken ist im Gebiet von München beobachtet und berechnet worden. Es wird sich zur Eichung von Geräten eignen, die im Flachland eingesetzt werden sollen. Im Gegensatz dazu soll das Basisvergrösserungsnetz Heerbrugg dazu dienen, Eichungen auch für Hochgebirgsverhältnisse vorzunehmen. Günstig ist dabei der Umstand, dass sich im Raum mehrere ständig betriebene meteorologische Stationen befinden.

Wie aus Bild 3 hervorgeht, liegt die Basis nicht in einer Geraden. Sie bildet vielmehr einen Polygonzug, so dass nicht nur die Strecke, sondern auch zahlreiche Winkel gemessen werden müssen. Die etwas ungewöhnliche Form der Basis ist darauf zurückzuführen, dass man die Strecken soweit als möglich in der Horizontalen messen wollte und die einzelnen Stücke daher auf den Rheindamm legte.

Die Messung der 7,2 km langen Basisstrecke zwischen dem Montlingerberg und der Brücke von Diepoldsau geschah durch sechs Messgruppen, von denen Deutschland drei, Oesterreich zwei und die Schweiz eine stellte. Die Messung erfolgte im Hin- und Rückweg mit insgesamt 12 Invardrähten — ohne Reservedrähte — von 24 m Länge. Die gesamte Messung dauerte zwei Wochen. Durch ständige Thermometerablesungen, durch genaues Nivellement, durch Schweremessungen und Alignemente sollte höchste Genauigkeit erreicht werden. Der voraus berechnete mittlere Fehler für die 7,2 km lange Basisstrecke liegt bei $\pm$ 2,0 mm. Die Beobachtungsergebnisse, die allerdings noch nicht vollständig ausgewertet sind, lassen darauf schliessen, dass diese hohe Genauigkeit wahrscheinlich erreicht worden ist.

Die Winkelmessungen auf den in Bild 4 eingetragenen Punkten erfolgte durch schweizerische und österreichische Gruppen. Es wurden Winkel nach dem Sektorverfahren beobachtet. Die mittleren Fehler liegen zwischen 0,08″ und 0,26″ und zwar gehören die tiefen Werte zu den hochgelegenen und die hohen Werte zu den tief liegenden Punkten, was zu erwarten war. Im Jahr 1961 sollen auf allen Punkten noch astronomische Beobachtungen und teilweise Schweremessungen durchgeführt werden, um die an der Erdoberfläche gemessenen Winkel auf das Rechnungsellipsoid überzuführen. Es ist zu erwarten, dass die endgültige Berechnung, die frühestens im Jahre 1961 abgeschlossen sein kann, die Längen der drei Seiten erster Ordnung mit mittleren Fehlern von der Grössenordnung von $\pm$ 4 cm geben wird.

Aus der Projektierung für die Kraftwerkgruppe Hinterrhein

Motor-Columbus AG., Baden

Die elektrischen Einrichtungen

DK 621.311.21

Von **Heinrich Schiller**, dipl. El.-Ing. ETH

Fortsetzung von Seite 486

Wie früher erwähnt, besteht die Kraftwerkgruppe Hinterrhein aus drei Werken, die auf der Wasserseite in Serie geschaltet sind. Es sind dies, dem Wasserlauf von oben nach unten folgend:

1. das Kraftwerk Ferrera mit drei Einheiten von je 63 MW bzw. 70 MVA. Bei zwei Einheiten ist auf der gleichen Welle noch eine Pumpe montiert, die vom Hauptgenerator als Synchronmotor angetrieben wird. Jede Pumpe fördert 3,4 m³/s über max. 497 m Förderhöhe und nimmt dabei eine Leistung von 23 MW auf. Die dritte Einheit kann später ebenfalls mit einer Pumpe ausgerüstet werden. Zwei Zubringerpumpen von 2,0 MW oder 2,6 MVA Aufnahmeleistung versorgen die Hauptpumpen.Die Generatoren sind in Blockschaltung mit den zugehörigen Transformatoren von 70 MVA Leistung verbunden, die die Energie auf 220 kV transformieren.