

Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz

herausgegeben von der

Schweizerischen Geodätischen Kommission

(Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft)

Arbeiten der Bodenseekonferenz

Dreißigster Band

Basismessung Heerbrugg 1959

Teil V

Astronomische Längen, Breiten und Azimute,
Lotabweichungen, geoidische und ellipsoidische
Höhen im Basisvergrößerungsnetz

bearbeitet von Fritz Kobold,
Werner Fischer und Niklaus Wunderlin,
mit einem Beitrag von Wilhelm Losert, Wien



Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz

herausgegeben von der

Schweizerischen Geodätischen Kommission
(Organ der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft)

Arbeiten der Bodenseekonferenz

Dreißigster Band

Basismessung Heerbrugg 1959

Teil V

Astronomische Längen, Breiten und Azimute,
Lotabweichungen, geoidische und ellipsoidische
Höhen im Basisvergrößerungsnetz

bearbeitet von Fritz Kobold,
Werner Fischer und Niklaus Wunderlin,
mit einem Beitrag von Wilhelm Losert, Wien

Adresse der Schweizerischen Geodätischen Kommission:

Institut für Geodäsie und Photogrammetrie
Eidg. Technische Hochschule Zürich
ETH-Hönggerberg
CH-8093 Zürich

Redaktion des 30. Bandes:

Dipl.Ing. Werner Fischer, Zürich
Dipl.-Ing. Helmut Hornik, München

Druck: Gebr. Brunner, D-8151 Wangau

V O R W O R T

Im vorliegenden Teil V der Publikationsreihe über die Basismessung Heerbrugg 1959 werden in einem ersten, einleitenden Kapitel die verschiedenen Lösungsvorschläge zur Berechnung des Basisvergrößerungsnetzes und deren Voraussetzungen diskutiert sowie die dazu erforderlichen Arbeiten aufgeführt. Im zweiten Kapitel werden die bei den astronomischen Beobachtungen angewandten Methoden dargestellt und die endgültigen Werte für die astronomischen Längen, Breiten und Azimute und für die Lotabweichungen der Punkte des Basisvergrößerungsnetzes mitgeteilt. Das dritte Kapitel zeigt die Art der Berechnungen für die geoidischen und ellipsoidischen Höhen dieser Punkte sowie die Ergebnisse dieser Berechnungen.

Die meisten astronomischen Beobachtungen stammen aus dem Jahre 1960, und provisorische Werte für die astronomischen Längen, Breiten und Azimute sowie für die Lotabweichungen lagen bereits im Jahre 1961 vor. Wenn man damals die Publikation hinausschob, so lag der Grund darin, daß man neue, genauere Beobachtungen, wie sie für einzelne Punkte zur Verbesserung der Landesnetze vorgesehen waren und die in den Jahren 1963 und 1968 auch durchgeführt wurden, in die Veröffentlichung aufnehmen wollte.

Die Beobachtungen der Höhenwinkel in einem besonderen Höhennetz, das die Punkte des Basisvergrößerungsnetzes enthielt, und die zugehörigen Berechnungen erfolgten im Jahre 1965.

In den damaligen Procès-verbaux der Schweizerischen Geodätischen Kommission sind provisorische Berichte über die Arbeiten wiedergegeben, die teilweise Grundlage des vorliegenden Teils V bilden. Dessen Inhalt geht jedoch über die damals gefundenen Ergebnisse weit hinaus, indem nicht nur die Berechnungen kontrolliert, sondern auch weitere, ergänzende Untersuchungen angestellt wurden.

Die Herausgeber dieses Teils V waren sich bewußt, daß der Basis Heerbrugg und ihrem Vergrößerungsnetz im heutigen Zeitpunkt nicht mehr die Bedeutung zukommt, die sie zu der Zeit hatte, als die Durchführung der Messung beschlossen wurde. Da die elektronische Distanzmessung hohe Genauigkeiten bei nicht großem Arbeitsaufwand liefert, sind in allen Landesnetzen zahlreiche Seiten erster Ordnung gemessen worden, die den Maßstab des europäischen Netzes besser bestimmen als die früheren wenigen Grundlinien höchster Genauigkeit mit ihren Vergrößerungsnetzen. Im Rahmen der Landesnetze und des RETrig bietet indes das Heerbrugger Netz noch heute eine wertvolle Kontrolle, weil die Seiten erster Ordnung zwischen den Punkten Säntis, Pfänder und Hoher Freschen mit ganz anderen Meßmethoden als denen der elektronischen Distanzmessung bestimmt worden sind.

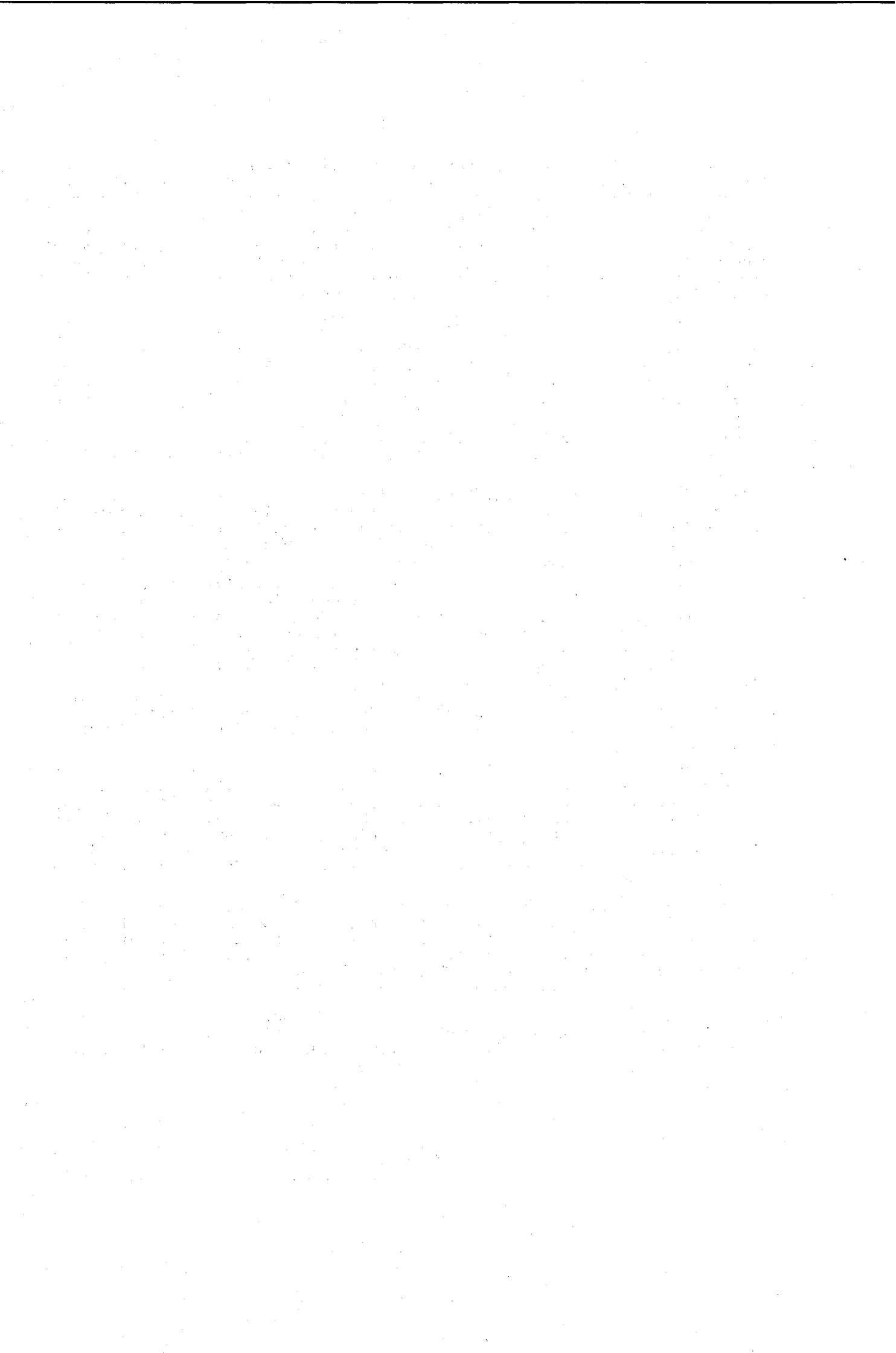
Der Basis Heerbrugg und dem Vergrößerungsnetz kommt jedoch in anderer Hinsicht heute und vermutlich auch in Zukunft noch eine hohe Bedeutung zu. Alle Messungen wurden mit höchstmöglicher Präzision durchgeführt, und es wurde versucht, allen physikalischen Einflüssen Rechnung zu tragen. Das Netz, das sich demnach durch hohe Genauigkeit auszeichnet, ist geeignet, als Grundlagenetz zur Bestimmung von Deformationen zu dienen. Es erlaubt, in einem späteren Zeitpunkt aufgrund neuer Messungen tektonische und andere Verschiebungen im Gebiet des St. Galler Rheintals und des Vorarlbergs zu bestimmen.

Auch der vorliegende Teil V der Publikationsreihe über die Basismessung Heerbrugg legt Zeugnis für die gute Zusammenarbeit zwischen den beauftragten österreichischen und schweizerischen Wissenschaftlern ab. Wichtigste Mitarbeiter waren auf österreichischer Seite Hofrat Dr. W. Losert und Hofrat Prof. Dr. J. Mitter, auf schweizerischer Seite Dipl.Ing. W. Fischer und Dipl.Ing. N. Wunderlin. Ihnen sei für die anspruchsvolle und aufwendige Arbeit gedankt.

Ein besonderer Dank geht an die Deutsche Geodätische Kommission, ihr Sekretariat und Herrn Dipl.-Ing. H. Hornik, die wie bei den ersten Teilen für die Erstellung der Reinschrift und den Verkehr mit der Druckerei Gebr. Brunner besorgt waren.

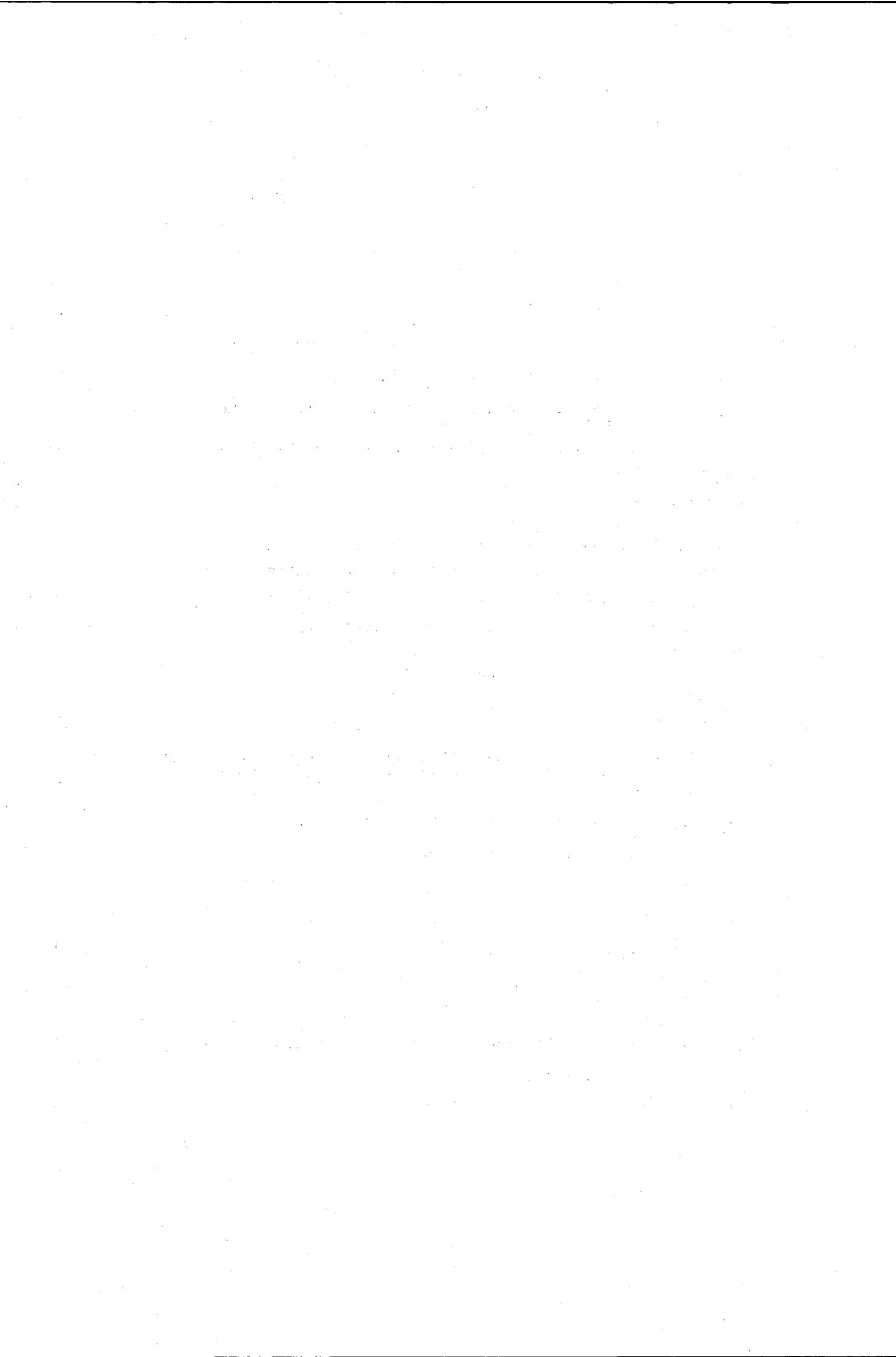
Zürich, im November 1982.

Prof. Dr. F. Kobold
Ehrenpräsident der
Schweizerischen Geodätischen Kommission



I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1. Einleitung	5
2. Astronomische Längen, Breiten, Azimute und Lotabweichungen	7
2.1 Allgemeine Beschlüsse und deren Durchführung	7
2.2 Die astronomischen Beobachtungen auf den österreichischen Punkten (von Dr. W. Losert)	8
2.2.1 Die Beobachtungsmethoden und die Berechnung der Ergebnisse	8
2.2.2 Die Station Hohe Kugel	9
2.2.3 Die Station Pfänder	11
2.2.4 Die Station Hoher Freschen	12
2.2.5 Ältere Beobachtungen auf Pfänder und Hoher Freschen	15
2.2.6 Die Lotabweichungen auf den österreichischen Punkten	15
2.3 Die astronomischen Beobachtungen auf den schweizerischen Punkten	17
2.3.1 Die Beobachtungsmethoden und das Instrumentarium	17
2.3.2 Die Stationen	18
2.3.3 Die Ausgleichungen der Längen	20
2.3.4 Breite	22
2.3.5 Azimut	25
2.4 Zusammenstellung der astronomischen Längen, Breiten und Azimute sowie der astronomisch-geodätischen Lotabweichungen im schweizerischen Referenzsystem	25
2.5 Aus sichtbaren Massen berechnete Lotabweichungen	28
3. Geoidische und ellipsoidische Höhen	31
3.1 Das Höhennetz 1965	31
3.2 Die Beobachtungen	32
3.3 Die Berechnungen	34
3.3.1 Die Lotabweichungen	34
3.3.2 Die Lotkrümmungen	35
3.3.3 Die Refraktionswinkel	36
3.3.4 Die Ausgleichung des Höhennetzes mit verschiedenen Ansätzen	38
3.4 Die endgültigen Resultate	41
4. Literaturverzeichnis	44



1. EINLEITUNG

Zweck der Messung der Basis Heerbrugg und des Basisvergrößerungsnetzes ist die möglichst genaue Bestimmung der Distanzen zwischen den Punkten erster Ordnung Säntis, Pfänder und Hoher Freschen. Wie bei allen herkömmlichen Basismessungen geht es darum, die sehr genau bestimmte Basislänge durch ein Vergrößerungsnetz, in dem nur Winkel gemessen werden, auf die Seiten des Netzes erster Ordnung zu übertragen.

Der von der Bodenseekonferenz bestellte Ausschuß für die Basismessung Heerbrugg beschloß auf seiner Sitzung vom 27. und 28. November 1959 in Salzburg (siehe Teil I, S. 50), das Basisvergrößerungsnetz nach folgenden drei Methoden zu berechnen:

a) Nach der klassischen Methode, ohne Reduktion der gemessenen Winkel

Es handelt sich um das Verfahren, das bisher, von Ausnahmen abgesehen, allgemein für die Ausgleichung von Basisvergrößerungsnetzen verwendet wurde. Diese Ausgleichung besorgte Hofrat Prof. Dr. J. Mitter, der darüber im Teil III dieser Publikationsreihe berichtet.

b) Auf dem Geoid bzw. auf einem geeigneten Ellipsoid nach Reduktion der gemessenen Winkel wegen Seitenrefraktion, Lotabweichungen und Lotlinienkrümmungen

In den Jahren, als über die Basis Heerbrugg gesprochen wurde, betrachtete man dieses Berechnungsverfahren als das theoretisch einwandfreie und praktisch durchführbare. Beobachtungen und provisorische Berechnungen wurden daher von Anfang an im Hinblick auf eine derartige Ausgleichung auf dem Ellipsoid gestaltet. So betrachtete man etwa die Bestimmung astronomischer Längen und Breiten nicht als eine primäre Aufgabe, sondern als eine sekundäre, weil sie nur zur Ermittlung von Lotabweichungen dienen sollten. Zu den in der Überschrift aufgeführten Reduktionen folgende Bemerkungen:

Über Größe und Einfluß der Seitenrefraktion im Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg stellte J. Mitter (1960) erste Untersuchungen an, die im Teil III kurz erwähnt sind. Auch M. Hirle (1965) schloß aus seiner gründlichen Untersuchung des ganzen Beobachtungsmaterials bei einzelnen Visuren auf Störungen wegen Seitenrefraktion, ohne aber konkrete Angaben über deren Größe machen zu können. Eine rechnerische Bestimmung der Refraktionseinflüsse nach N. Wunderlin (1979) erwies sich dagegen als unmöglich.

Die Kenntnis der Lotabweichungen ist nötig, um die in den Niveauflächen der Stationen gemessenen Winkel in die Winkel umzuwandeln, die man in der Parallelebene zur Tangentialebene durch den Fußpunkt der Ellipsoidnormalen gemessen hätte. Ihre Bestimmung erfolgte einmal aufgrund astronomischer Beobachtungen und sodann noch durch Berechnung aus sichtbaren Massen. Im zweiten Kapitel dieses Teils V werden die astronomischen Beobachtungsmethoden beschrieben und die Resultate, Längen, Breiten, Azimute und Lotabweichungen mitgeteilt. Von besonderem Interesse dürfte die Gegenüberstellung der astronomisch bestimmten und der aus sichtbaren Massen

berechneten Lotabweichungen sein. Für spätere Netzberechnungen sollen jedoch nur die astronomisch bestimmten Werte benützt werden.

Lotkrümmungen wären bei der Berechnung der Koordinaten der Netzpunkte dann zu berücksichtigen, wenn man als projizierte Punkte der Stationen andere als die Fußpunkte der Ellipsoidnormalen definieren wollte. Diese Möglichkeit ist bisher nicht in Betracht gezogen worden. Lotkrümmungen müssen jedoch unbedingt bei der Bestimmung orthometrischer Höhen berücksichtigt werden, um mit Höhenwinkeln rechnen zu können, die man auf dem Geoid gemessen hätte. Ihre Werte findet man im dritten Kapitel des vorliegenden Teils.

N. Wunderlin hatte das Heerbrugger Basisnetz vor längerer Zeit nach der hier unter b) beschriebenen Methode ausgeglichen. Auf eine Publikation über das Vorgehen und die Ergebnisse wurde aber verzichtet, da der Bearbeiter sich damals auf provisorische Werte für die Lotabweichungen stützen mußte. Die Ergebnisse einer Ausgleichung unter Berücksichtigung der Lotabweichungen sollen jedoch im Teil VI mit denen aus einer Ausgleichung als Raumnetz verglichen werden.

c) Durch Berechnung der Raumstrecken zwischen den einzelnen Punkten ohne Übergang auf Ellipsoid oder Geoid

Die sehr allgemeine Formulierung dieser dritten Methode zeigt, daß man schon vor zwanzig Jahren an eine Berechnungsart dachte, bei der auf die Benützung eines Ellipsoides verzichtet wird und die man heute als dreidimensionale oder Raumausgleichung bezeichnen würde. Verschiedene Möglichkeiten für das Vorgehen im einzelnen wurden erst Jahre nach der Basismessung von verschiedenen Autoren gezeigt. Eine wertvolle Publikation stammt von Bauersima und Schürer (1976), und ein praktisches Beispiel aus der Schweiz stellt das Raumnetz Thusis (Schneider, 1978) dar. Die Methode erfordert außer den beobachteten Richtungen die Kenntnis von astronomischen Längen, Breiten und Azimuten sowie der Höhenwinkel, um die Richtungsbüschel orientieren zu können.

Da die Beobachtung der Höhenwinkel zwischen den entfernten Punkten des Basisvergrößerungsnetzes wegen der Refraktionseinflüsse zu unsicher gewesen wäre, wurde ein besonderes Höhennetz mit kürzeren Distanzen angelegt, das alle Punkte des Basisvergrößerungsnetzes enthält. Auf die Wiedergabe der gemessenen Höhenwinkel wird im vorliegenden Heft verzichtet, da im Höhennetz durchwegs exzentrisch beobachtet worden war und die Höhenberechnung über die Exzentren erfolgte, so daß zentrierte Höhenwinkel nicht berechnet werden mußten. Das Höhennetz erlaubte die Berechnung geoidischer und ellipsoidischer Höhen mit hinreichender Genauigkeit. In einer Raumausgleichung lassen sich nun an Stelle der Höhenwinkel die ellipsoidischen Höhen verwenden. Im dritten Kapitel des vorliegenden Teils V wird das Vorgehen bei der Höhenberechnung beschrieben, und in Tabellen werden die geoidischen und ellipsoidischen Höhen gegeben.

Im Vorwort wurde darauf hingewiesen, daß schon kurze Zeit nach der Messung der Basis und des Basisvergrößerungsnetzes eine Entwicklung begann, welche die Bedeutung des ganzen, doch sehr aufwendigen Unternehmens für das europäische Triangulationsnetz verminderte. Die Geräte für die elektronische Distanzmessung lieferten höhere Genauigkeiten als die durch die klassische Triangulation erreichbaren. Um ihre Geräte zu prüfen, maßen in den sechziger Jahren verschiedene deutsche

und schweizerische Institute zahlreiche Strecken des Basisvergrößerungsnetzes. Alle diese Distanzmessungen verbessern das zunächst nur auf Winkelmessungen aufgebaute Netz ganz wesentlich, und sie müssen daher in die Netzausgleichung einbezogen werden.

2. ASTRONOMISCHE LÄNGEN, BREITEN, AZIMUTE UND LOTABWEICHUNGEN

2.1 Allgemeine Beschlüsse und deren Durchführung

Der Ausschuß für die Basismessung Heerbrugg legte an seiner Sitzung vom November 1959 in Salzburg das allgemeine Programm für die astronomischen Beobachtungen, aus denen Lotabweichungen ermittelt werden sollten, fest. Er beschloß (siehe Teil I, S. 49), "sowohl auf den Basisendpunkten als auch auf allen Punkten des Basisvergrößerungsnetzes (mit Ausnahme des Punktes Pfänder, der bereits als Laplace-Punkt bestimmt worden war) die Lotabweichungskomponenten zu bestimmen. Für die Meridiankomponenten sind Polhöhen, für die Ost-West-Komponenten sind Längendifferenzen zu beobachten. Auf dem Punkt Säntis ist außerdem das astronomische Azimut nach dem Pfänder zu bestimmen. Der Punkt Säntis wird damit zu einem Laplace-Punkt und soll mit höchster Genauigkeit beobachtet werden. Für die übrigen Punkte ist nicht höchste Genauigkeit notwendig, doch sollen die mittleren Fehler an den Polhöhen und an den Längen im Maximum $\pm 0,5''$ betragen. - Die Punkte auf österreichischem Gebiet werden von Österreich, die Punkte auf schweizerischem Gebiet von der Schweiz bearbeitet." An zwei Sitzungen vom Frühjahr 1960 wurde von den österreichischen und den schweizerischen Beauftragten das generelle Beobachtungsprogramm besprochen (siehe Teil I, S. 24; Fischer, 1961a, S. 3; Fischer, 1961b, S. 5).

Auf den vier schweizerischen Punkten wurden die vorgesehenen astronomischen Beobachtungen im Sommer 1960 durchgeführt. Allerdings mußte auf dem Säntis anstelle des im Programm vorgesehenen Azimutes nach Pfänder dasjenige nach St. Anton gemessen werden. Eine wertvolle Ergänzung des ursprünglichen Programms ergab sich hingegen dadurch, daß auf den übrigen Punkten noch je ein Azimut beobachtet wurde. Als im Jahre 1963 der Punkt Säntis als Laplace-Punkt im schweizerischen Netz beobachtet wurde (Wunderlin, 1969b, S. 87-136), konnte nun neben dem Azimut nach Hörnli auch dasjenige nach Pfänder gemessen werden. Schließlich folgte 1968 im Zusammenhang mit der Bestimmung des Laplace-Punktes Weißfluh (bei Davos) eine weitere Azimutbeobachtung vom Säntis nach diesem Punkt (Müller, 1972, S. 68-76).

Auf österreichischer Seite wurde im Sommer 1960 lediglich auf dem Punkt Hohe Kugel gemessen. Da die erforderliche tragbare Zeitanlage noch nicht zur Verfügung stand, wurden anstelle der Länge die zwei Azimute nach St. Anton und Pfänder beobachtet. Wenn auf dem Punkt Hoher Freschen damals nicht beobachtet wurde, so lag der Grund darin, daß für diesen Punkt Breiten- und Azimutbestimmungen aus dem Jahre 1937 vorlagen, deren Genauigkeit zur Ermittlung von Lotabweichungen genügt hätte. Später beschloß das Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, im Rahmen der Lotabweichungsbeobachtungen im österreichischen Dreiecksnetz 1. Ordnung neue Breiten- und Azimutbeobachtungen auf Hoher Freschen durchzuführen (Litschauer, 1973, S. 19), was dann im Jahre 1968 geschah. Gleichzeitig wurde 1968 der Pfänder als moderner Laplace-Punkt beobachtet (Erker u.a., 1979, S. 52).

Über die österreichischen Beobachtungen und Berechnungen hat Hofrat Dr. W. Losert im Jahr 1978 einen zusammenfassenden Bericht verfaßt, der fast unverändert im folgenden Abschnitt 2.2 wiedergegeben ist.

Ein ähnlicher Bericht über die schweizerischen Beobachtungen von 1960, der aber erst vorläufige Ergebnisse enthielt, wurde von W. Fischer (1961a) der Schweizerischen Geodätischen Kommission vorgelegt. Die Zweitberechnung aller astronomischen Elemente führte N. Wunderlin durch. Der Abschnitt 2.3 enthält die darauf basierenden definitiven Werte.

Die Abbildung 1 zeigt die auf den Punkten des Basisvergrößerungsnetzes durchgeführten astronomischen Längen-, Breiten- und Azimutbestimmungen. Die Zusammenstellung der endgültigen Ergebnisse aller Stationen befindet sich im Abschnitt 2.4.

Aufgrund späterer Beschlüsse wurden zudem für alle Punkte des Basisvergrößerungsnetzes Lotabweichungen aus sichtbaren Massen bestimmt, die im Abschnitt 2.5 dargestellt sind.

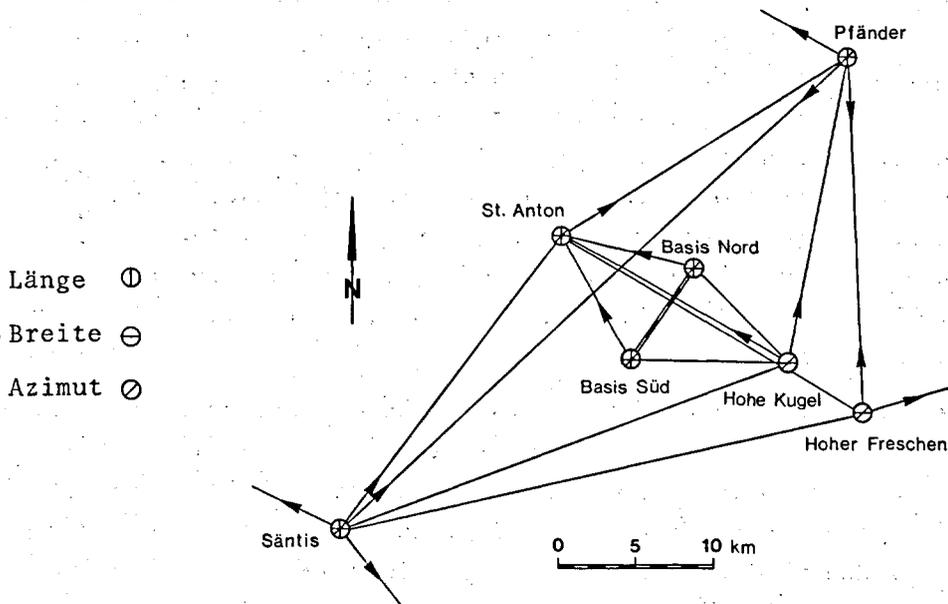


Abb. 1: Astronomische Beobachtungen im Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg

2.2 Die astronomischen Beobachtungen auf den österreichischen Punkten (von Dr. W. Losert)

2.2.1 Die Beobachtungsmethoden und die Berechnung der Ergebnisse

Die astronomischen Beobachtungen von Länge, Breite und Azimut der Dreiecksseiten wurde nach den im österreichischen Dreiecksnetz 1. Ordnung zur Bestimmung der Lotabweichungen bislang angewendeten Methoden vorgenommen.

Zur Bestimmung der astronomischen Länge auf dem Punkt Pfänder sind mit einem Passagenrohr Zeitbestimmungen aus der Registrierung von Sterndurchgängen durch den Ortsmeridian vorgenommen worden. Die so erhaltenen Uhrstände wurden mit jenen aus dem Empfang der Dauerzeitsignale des Senders DIZ erhaltenen verglichen und so die Verbesserung der bei den Reduktionen verwendeten vorläufigen Länge erhalten.

Zur Bestimmung der Breite sind Meridianzenitdistanzen von Sternen gemessen worden. Das astronomische Azimut wurde durch direkte Winkelmessung zwischen dem irdischen Ziel und dem Polarstern, bei Stoppung der Antrittszeitern des letzteren, an den Mittelfaden, ermittelt.

Die Reduktion der Beobachtungsergebnisse wurde nach den in Jordan/Eggert/Kneißl (1970) gegebenen Formeln vorgenommen. Die Sternörter wurden im System des Fundamentalkataloges FK 4 unter Berücksichtigung der kurzperiodischen Nutationsglieder berechnet. Die Korrekturen für die Polschwankung - bei der astronomischen Länge auch noch für die Rotationsschwankungen der Erde - wurden ebenfalls berücksichtigt, wobei die erforderlichen Angaben den Veröffentlichungen des BIH entnommen wurden.

Einzig die Azimutreduktionen wegen der Meereshöhe des Zieles wurden erst bei der Berechnung der Lotabweichungen im Abschnitt 2.2.6 bzw. im Abschnitt 2.4 angebracht.

2.2.2 Die Station Hohe Kugel

Die astronomischen Beobachtungen auf dem Punkt Hohe Kugel fanden zwischen 13. und 22. August 1960 statt. Als Beobachtungsstandpunkt diente der für die Beobachtungen im Basisentwicklungsnetz errichtete Pfeiler. Es wurden die Breite und die Azimute nach Pfänder und St. Anton gemessen. Die Signalisierung durch Scheinwerfer erfolgte auf beiden Zielstationen zentrisch.

Die Messungen wurden mit dem Wild T 4-Universalinstrument 37426 vorgenommen. Zur Zeitnehmung standen Nardin-Chronometer zur Verfügung, deren Stand durch Aufnahme von Koinzidenzzeitensignalen bzw. auch des Dauerzeitzeichensenders DIZ ermittelt wurde.

Tabelle 1

Breitenbeobachtungen auf Hohe Kugel

Datum 1960	Epoche	N	Abendwert der Breite	m.F. ±
August 13/14	1960,62	6	47°20'19,62"	0,21"
16/17	1960,62	18	19,35	0,22
21/22	1960,63	12	18,88	0,14
Gesamtmittel			47°20'19,24"	± 0,13"
Reduktion auf den mittleren Pol			+ 0,08"	
Reduziertes Mittel der Breite			47°20'19,32"	± 0,13"

N = Anzahl der Sternpaare

Tabell 2

Azimitbeobachtungen auf Hohe Kugel

Datum 1960	MEZ	N	Satzgruppenmittel	m.F. ±
nach St. Anton				
August 13/14	1 ^h 40 ^m - 2 ^h 18 ^m	4	301°02'49,73"	0,30"
16/17	19 40 - 20 20	4	48,39	0,41
16/17	22 32 - 23 47	8	49,21	0,34
16/17	5 15 - 5 44	4	49,89	0,14
21/22	22 03 - 23 25	8	49,94	0,35
Gesamtmittel			301°02'49,47"	± 0,19"
Reduktion auf den mittleren Pol				

Reduziertes Mittel des Azimutes				
			301°02'49,35"	± 0,19"

nach Pfänder				
August 16/17	21 ^h 10 ^m -22 ^h 16 ^m	8	14°11'27,88"	0,23"
16/17	23 55 - 0 30	4	27,70	0,19
16/17	4 10 - 4 52	6	27,80	0,15
21/22	20 20 - 21 36	8	27,89	0,13
21/22	1 45 - 2 20	4	29,48	0,10
Gesamtmittel			14°11'28,06"	± 0,10"
Reduktion auf den mittleren Pol				
			- 0,12"	

Reduziertes Mittel des Azimutes				
			14°11'27,94"	± 0,10"

N = Anzahl der Sätze

Tabell 3

Längenbeobachtungen auf Pfänder

Datum 1968	mittlere Ortssternzeit	N	u _Z	m.F.s ±	u _R	u _Z -u _R	Tagesmittel
Juni							
2	16 ^h 38 ^m	11	-0,763 ^s	11	+0,250 ^s	-1,013 ^s	-1,013 ^s
28	17 52	12	-1,008	11	+0,002	-1,010	-1,010
29	18 02	9	-1,004	12	+0,014	-1,018	
29	19 56	13	-0,987	7	+0,014	-1,001	-1,010
30	16 40	10	-0,980	7	+0,016	-0,996	
30	18 20	9	-0,991	8	+0,016	-1,007	
30	19 55	11	-0,986	10	+0,020	-1,006	-1,003
Juli							
1	16 26	12	-0,999	11	+0,025	-1,024	
1	18 10	10	-0,984	8	+0,025	-1,009	
1	19 50	12	-1,000	8	+0,025	-1,025	-1,019

Korrektion aus der Längenbestimmung (Mittel)							
						-1,011 ^s ±	0,003 ^s

Reduktion auf das Zentrum							
						-0,071 ^s	

Korrektion auf den mittleren Pol							
						-0,014 ^s	

Korrektion wegen Rotationsschwankungen der Erde							
						-0,006 ^s	

Geodätische Länge aus dem österreichischen Netz							
						39 ^m 07,298 ^s	

Astronomische Länge des Zentrums Pfänder							
						39 ^m 06,196 ^s ±	0,003 ^s

N = Anzahl der Zeitsterne

u_Z = Uhrstand aus Zeitbestimmung

u_R = Uhrstand aus Radioempfang

2.2.3 Die Station Pfänder

Die astronomischen Beobachtungen auf dem Punkt 1. Ordnung Pfänder fanden zwischen 2. Juni und 1. Juli 1968 statt.

Die Beobachtungen zur Bestimmung der astronomischen Länge

Da der Pfänder als Laplace-Station für das österreichische Dreiecksnetz beobachtet werden sollte, wurde für die Längenbestimmungen etwa 58 m nordöstlich des Zentrums ein massiver Pfeiler aus Betonteilen errichtet, dessen Zentrierungselemente noch vor Aufstellung des Passagenrohres ermittelt wurden. Der Pfeiler mußte auf Verlangen des Grundbesitzers nach Beendigung der Beobachtungen wieder abgetragen werden. Das 1 m tiefe Fundament im Ausmaß von ca. 1,2 x 1,2 m ist allerdings im Boden verblieben und könnte auch späterhin als Fundament für einen Pfeiler dienen.

Pfeiler, Instrument und Registrieranlage waren durch eine Hütte aus Dexionteilen mit verschiebbarem Dach geschützt. Der Beobachtungsraum dieser Hütte enthielt rund um den Pfeiler einen Stahlrost, so daß der Boden vom Beobachter nicht berührt wurde.

Die Zeitbestimmungen wurden mit dem Bambergischen Durchgangsinstrument 8804 vorgenommen, das dem Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen für die Längenbestimmungen im österreichischen Dreiecksnetz 1. Ordnung von der Schweizerischen Geodätischen Kommission freundlicherweise zur Verfügung gestellt worden war.

Als Beobachtungsuhr diente eine Quarzuhr der Fa. Marchetti-Wien, die einen kleinen und sehr konstanten Gang von ca. $2 \cdot 10^{-8}$ aufwies. Diese Uhr steuerte die 50 Hz Frequenz eines Druckchronographen der Fa. Wetzer, auf dem sowohl die Sterndurchgänge als auch die Zeitsignale des Senders DIZ registriert wurden.

Die Instrumentalkonstanten Kontaktbreite + Toter Gang des Mikrometers ($0,1106^S$) sowie der Parswert der Hängelibelle ($0,080^S$) waren aus vorangegangenen Beobachtungen an der Wiener Universitätssternwarte bekannt.

Die Aufnahme der Radiozeitsignale wurde mit einem Hagenuk-Universalempfänger UE 11 vorgenommen. Zeitaufnahmen erfolgten meistens vor Beginn und nach Beendigung jeder Zeitbestimmung. Bei Ausfall von Zeitsignalen infolge der oft erheblichen Empfangsstörungen in den Abendstunden mußten die Uhrstände aus weiter abliegenden Aufnahmen interpoliert werden. Dies war jedoch wegen der Kleinheit des Uhrangeses völlig unbedenklich. Die Empfangsverzögerung des Radioapparates wurde im Labor der Gruppe Eichwesen des Bundesamtes mit 0,4 Millisekunden bestimmt und ist wegen ihrer Kleinheit vernachlässigt worden.

Die persönlich-instrumentelle Gleichung für die Zeitbestimmungen wurde durch Anschlußmessungen an der Wiener Universitätssternwarte mit 6 ms Verzögerung bestimmt. Zieht man andererseits die Laufzeit der Radiowellen von 3-4 ms in Betracht, die ihrerseits die Ankunft der Radiozeitsignale verzögert, so scheinen die beiden Werte gegeneinander aufgewogen. Die geringe Differenz war angesichts der zu erwartenden Ungenauigkeit des ersteren Wertes sicher zu vernachlässigen.

Über die Anzahl der beobachteten Zeitsterne gibt die Tabelle 3 Auskunft. Zur Bestimmung des Azimutes des Instrumentes ist in jeder Zeitbestimmung noch zusätzlich ein Polstern- und ein Äquatorsterndurchgang beobachtet worden. Um den

Einfluß eines Fehlers der Azimutbestimmung möglichst unwirksam zu machen, wurde angestrebt, die algebraische Summe der Azimutkoeffizienten einer Zeitbestimmung klein zu halten.

Die Breiten- und Azimutmessungen

Die Breiten- und Azimutmessungen erfolgten auf dem zentrischen Pfeiler. Es wurden die Azimute nach Säntis, Kippenhausen und Hoher Freschen gemessen. Die Verständigung des Beobachters mit den Heliotropisten erfolgte über Funksprechgeräte. Als Leuchtstand auf dem Säntis diente der Pfeiler 1959, der seit seiner Erstellung als Zentrum angesehen wird. Auf Kippenhausen und Hoher Freschen wurde ebenfalls zentrisch geleuchtet.

Die Messungen wurden mit dem Wild T 4-Universalinstrument 48981 vorgenommen. Der Zeitdienst wurde mit dem tragbaren Schiffschronometer Ulysse Nardin 7689 versehen, wobei die Zeitaufnahmen des Dauerzeitzeichensenders DIZ an der Registrieranlage der Längenstation erfolgen konnten. Die Zeitaufnahmen erfolgten unmittelbar vor und nach jeder Serie der Beobachtungen von Abend- bzw. Morgenazimut, so daß der Uhrstand dauernd überprüft war.

Tabelle 4

Breitenbeobachtungen auf Pfänder

Datum 1968	Epoche	N	Abendwert der Breite	m.F. ±
Juni 17/18	1968,47	12	47°30'28,10"	0,23"
18/19	1968,47	12	28,37	0,23
22/23	1968,48	18	27,91	0,27
25/26	1968,49	12	28,42	0,25
Gesamtmittel			47°30'28,17"	± 0,13"
Reduktion auf den mittleren Pol			-0,03"	
Reduziertes Mittel der Breite			47°30'28,14"	± 0,13"

N = Anzahl der Sternpaare

2.2.4 Die Station Hoher Freschen

Die astronomischen Beobachtungen auf dem Punkt Hoher Freschen wurden zwischen 22. und 29. Juli 1968 auf dem etwa 8,5 m östlich des Zentrums befindlichen Pfeiler durchgeführt, dessen Zentrierungselemente vor Beginn der Beobachtungen neu bestimmt wurden. Es war dies jener Pfeiler, auf dem auch die Winkelmessungen für das Basisentwicklungsnetz stattfanden.

Die Beobachtungen wurden mit dem Wild T 4-Universalinstrument 48981 vorgenommen. Der Zeitdienst wurde durch das Nardin Chronometer 7689 versehen. Zeitaufnahmen des Senders DIZ erfolgten auf der Station selbst mittels eines kleinen tragbaren japanischen Radioempfängers Type Sony unmittelbar vor Beginn und nach Beendigung der Messungen jeder Satzgruppe.

Es wurden die Breite und die Azimute nach Pfänder (Zentrum) bzw. Hoher Ifen (Versicherungsstein SO) gemessen.

Tabelle 5

Azimutbeobachtungen auf Pfänder

Datum 1968	MEZ	N	Satzgruppen- mittel	m.F. ±
<u>nach Säntis</u>				
Juni 5/6	1 ^h 50 ^m - 3 ^h 30 ^m	12	229 ^o 09'42,88"	0,31"
13/14	1 00 - 2 20	12	43,65	0,38
13/14	3 30 - 4 00	6	43,26	0,52
17/18	2 45 - 4 10	12	42,64	0,29
18/19	21 25 - 22 10	12	43,35	0,39
Gesamtmittel			229 ^o 09'43,14"	± 0,17"
Reduktion auf den mittleren Pol			-0,32"	
Reduziertes Mittel des Azimutes			229 ^o 09'42,82"	± 0,17"
<u>nach Kippenhausen</u>				
Juni 5/6	0 ^h 30 ^m - 1 ^h 30 ^m	12	299 ^o 04'32,82"	0,42"
7/8	23 45 - 0 55	12	33,06	0,36
13/14	2 25 - 2 55	5	33,58	0,71
17/18	1 20 - 2 25	8	33,48	0,35
18/19	22 50 - 0 10	11	32,77	0,39
Gesamtmittel			299 ^o 04'33,06"	± 0,18"
Reduktion auf den mittleren Pol			- 0,32"	
Reduziertes Mittel des Azimutes			299 ^o 04'32,74"	± 0,18"
<u>nach Hoher Freschen</u>				
Juni 22/23	23 ^h 20 ^m - 0 ^h 30 ^m	12	180 ^o 28'51,66"	0,25"
22/23	2 40 - 3 35	12	50,81	0,22
25/26	22 20 - 0 15	12	52,26	0,18
25/26	1 40 - 2 50	12	51,03	0,28
28/29	21 20 - 22 25	12	52,14	0,23
29/30	22 20 - 23 20	12	51,26	0,21
29/30	3 50 - 4 25	6	49,77	0,18
Gesamtmittel			180 ^o 28'51,39"	± 0,13"
Reduktion auf den mittleren Pol			- 0,32"	
Reduziertes Mittel des Azimutes			180 ^o 28'51,07"	± 0,13"

N = Anzahl der Sätze

Tabelle 6

Breitenbeobachtungen auf Hoher Freschen

Datum 1968	Epoche	N	Abendwert der Breite	m.F. ±
Julii 22/23	1968,56	12	47°18'37,32"	0,21"
27/28	1968,57	12	37,84	0,20
28/29	1968,57	12	37,18	0,28
Gesamtmittel				
			47°18'37,45"	± 0,15"
Reduktion auf das Zentrum				
			- 0,04"	
Reduktion auf den mittleren Pol				
			- 0,05"	
Reduziertes Mittel der Breite				
			47°18'37,36"	± 0,15"

N = Anzahl der Sternpaare

Tabelle 7

Azimuthbeobachtungen auf Hoher Freschen

Datum 1968	MEZ	N	Satzgruppenmittel	m.F. ±
nach Pfänder				
Julii 22/23	0 ^h 10 ^m - 1 ^h 00 ^m	12	0°27'21,59"	0,29"
22/23	4 15 - 5 05	12	22,20	0,17
27/28	22 25 -23 40	12	21,80	0,26
27/28	3 40 - 4 10	6	20,58	0,37
28/29	22 10 -23 10	12	21,67	0,28
28/29	1 25 - 1 50	6	21,30	0,36
Gesamtmittel				
			0°27'21,65"	± 0,13"
Reduktion auf das Zentrum				
			+ 1'17,93"	
Reduktion auf den mittleren Pol				
			- 0,27"	
Reduziertes Mittel des Azimutes				
			0°28'39,31"	± 0,13"
nach Hoher Ifen				
Julii 22/23	22 ^h 30 ^m -23 ^h 35 ^m	12	77°33'54,51"	0,35"
22/23	3 00 - 4 00	12	54,64	0,27
27/28	23 55 - 1 05	12	53,60	0,23
28/29	3 00 - 3 30	6	53,10	0,49
Gesamtmittel				
			77°33'54,09"	± 0,18"
Zielpunktzentrierung				
			- 38,18"	
Standpunktzentrierung				
			+ 4,99"	
Reduktion auf den mittleren Pol				
			- 0,27"	
Reduziertes Mittel des Azimutes				
			77°33'20,63"	± 0,18"

N = Anzahl der Sätze

2.2.5 Ältere Beobachtungen auf Pfänder und Hoher Freschen

Gemäß früheren Zusammenstellungen hatte Professor Ledersteger 1937 die Länge auf Pfänder sowie die Breite und das gegenseitige Azimut auf Pfänder und Hoher Freschen beobachtet. Da jedoch die Beobachtungsunterlagen im Kriege verlorengingen, kamen Zweifel an den überkommenen Zahlen auf. Wie die Tabelle 8 zeigt, haben sich die Ergebnisse durch die neuen Beobachtungen bestätigt. Nur das neu gemessene Azimut vom Hohen Freschen zum Pfänder weist eine größere Abweichung von 1,09" vom alten Wert auf.

Tabelle 8

Beobachtungen von 1937 und 1968 auf Pfänder und Hoher Freschen

Pfänder	Länge 1937	39 ^m 06,210 ^s		
	1968	06,196 ^s	± 0,003 ^s	
	Breite 1937	47° 30' 28,13"	± 0,16"	
	1968	28,14"	± 0,13"	
Hoher Freschen	Azimut 1937	180° 28' 51,61"	± 0,42"	nach Hoher Freschen
	1968	51,07"	± 0,13"	
	Breite 1937	47° 18' 37,61"	± 0,20"	
	1968	37,36"	± 0,15"	
	Azimut 1937	0° 28' 40,40"	± 0,28"	nach Pfänder
	1968	39,31"	± 0,13"	

Die mittleren Fehler der Ergebnisse von 1968 sind durchwegs kleiner als die der Ergebnisse von 1937. Würde man Gewichtsmittel bilden, so lägen diese nahe bei den Werten von 1968. Auf die Bildung solcher Mittel wird jedoch verzichtet, so daß als endgültige Werte in den Abschnitten 2.2.6 und 2.4 die aus den Beobachtungen von 1968 gefundenen betrachtet werden.

2.2.6 Die Lotabweichungen auf den österreichischen Punkten

Die in der Tabelle 9 abgeleiteten Lotabweichungen beziehen sich auf die Koordinaten Z (Zweites Netz), M (System des Militärgeographischen Institutes) der Zweiten Ausgleichung des Österreichischen Dreiecksnetzes 1. Ordnung (Litschauer, 1973).

An den astronomischen Azimuten ist vorgängig die Reduktion wegen der Meereshöhen des Zieles (Höhenreduktion) angebracht worden.

Tabelle 9

Astronomische Daten und Lotabweichungen der österreichischen Punkte

Station Bezugspunkt	astr. Breite	astr. Länge	beob. Azimut Höhenreduktion	Azimut nach Bezugspunkt
	geod. Breite	geod. Länge	astr. Azimut geod. Azimut	
	ΔB (astr.-geod.)	ΔL (astr.-geod.)	ΔA (astr.-geod.) Mittel der ΔA $nA = \Delta A \cdot \text{ctg} B$	
	$\xi = \Delta B$	$nL = \Delta L \cdot \cos B$		Laplace- Widerspruch $w = \Delta A - \Delta L \cdot \sin B$
Hohe Kugel Pfeiler 1959	47° 20' 19,32"		301° 02' 49,35" - 0,05	St. Anton Lochbolzen
	47 20 08,50 + 10,82"		301 02 49,30 301 03 10,99 - 21,69"	
			14 11 27,94 + 0,03 14 11 27,97 14 11 48,08 20,11"	Pfänder Pfeiler
	$\xi = + 10,82''$		Mittel - 20,90" $nA = - 19,26''$	
Pfänder Pfeiler	47 30 28,14	9° 46' 32,94"	180 28 51,07 0,00	Hoher Freschen Zentrum
	47 30 28,71 - 0,57"	9 46 49,40 - 16,46"	180 28 51,07 180 29 08,40 - 17,33"	
			229 09 42,82 + 0,12 229 09 42,94 229 09 59,70 - 16,76"	Säntis Pfeiler
			299 04 32,74 - 0,02 299 04 32,72 299 04 50,03 - 17,31"	
	$\xi = - 0,57''$	$nL = - 11,12''$	Mittel - 17,13" $nA = - 15,69''$	Kippenhausen Zentrum
			$w = - 4,99''$	
Hoher Freschen Zentrum	47 18 37,36		0 28 39,31 0,00	Pfänder Pfeiler
	47 18 26,94 + 10,42"		0 28 39,31 0 29 01,77 - 22,46"	
			77 33 20,63 + 0,05 77 33 20,68 77 33 42,87 - 22,19"	Hoher Ifen Zentrum
	$\xi = + 10,42''$		Mittel - 22,32" $nA = - 20,59''$	

2.3 Die astronomischen Beobachtungen auf den schweizerischen Punkten

2.3.1 Die Beobachtungsmethoden und das Instrumentarium

Länge

Die Längen der Netzpunkte wurden als Einbeobachterlängen gegenüber dem Referenzpunkt Gäbris abgeleitet. Die Ingenieure Fischer und Wunderlin beobachteten auf jeder Station je eine Serie mit ca. 12 Meridiandurchgängen. Auf dem Referenzpunkt Gäbris beobachtete jeder Beobachter an vier Abenden je eine Serie von 12 Sterndurchgängen, um möglichst zuverlässige Werte für die persönliche Gleichung zu erhalten. Die Referenzstation erhielt auf diese Weise ein höheres Gewicht als die Netzpunkte, was sich in der Folge als günstig erwies. Bei den Durchgangsbeobachtungen wurden Sterne des FK 3 benützt, deren Zenitdistanz 30° nicht überschritt. Angestrebt wurde eine gleichmäßige Verteilung auf Nord- und Südsterne, wobei die Summe der Zenitdistanzen aller 12 Sterne nahe bei Null liegen oder wegen des kleineren Gewichts der Nordsterne leicht negativ werden sollte. Das Universalinstrument T 4 wurde stets so orientiert, daß die Durchgangsbeobachtungen in einem Vertikal erfolgten, der nicht weiter als 1° außerhalb des Meridians lag, was mit einer Polaris-Beobachtung leicht und schnell erreicht wurde.

Breite

Zur Bestimmung der Breiten wurden die Meridianzenitdistanzen von je 8 Sternpaaren in zwei Serien beobachtet. Wie bei den Längenbestimmungen wurden die Beobachtungen auf verschiedene Abende und auf die zwei Beobachter verteilt. Es erwies sich als zweckmäßig, an jedem Beobachtungsabend je eine Serie von Längen- und Breitenbeobachtungen durchzuführen. Auch für die Breitenbestimmungen genügten die Sterne des FK 3, wobei die Zenitdistanz wie bei den Längenbestimmungen auf 30° begrenzt wurde.

Azimut

Auf allen Stationen wurde ein astronomisches Azimut nach der Polaris-Methode bestimmt. Damit die Abende nicht zu sehr belastet wurden, erfolgten Azimutbestimmungen nach Möglichkeit auch am Tage. Sowohl für die Nacht- als auch für die Tagbeobachtungen wurde das irdische Objekt durch Scheinwerfer signalisiert. Auf jeder Station wurden zwei Serien mit je 12 Sätzen gemessen, wobei nach je zwei Sätzen der Horizontalkreis um 30° verdreht wurde.

Das Instrumentarium

Es setzte sich während der ganzen Beobachtungsperiode aus den folgenden Hauptelementen zusammen:

Universalinstrument Wild T 4 Nr. 33112

Marinechronometer Nardin Nr. 34/7845

Deckchronometer Nardin Nr. 15282

Vierspitzenchronograph Favag

Kurzwellenempfänger Typ RT 77/GRC - 9Fr

Für den T 4 Nr. 33112 des Geodätischen Institutes der ETH ergaben sich aus einer Prüfung vor Beginn der Feldarbeiten die Instrumentenkonstanten für das Achsniveau, die Höhenkreislibelle, die Kontaktbreite, den toten Gang und den Revolutionswert.

Da die bestellte Quarzuhr nicht rechtzeitig fertiggestellt werden konnte, mußte mit den Chronometern der Schweizerischen Geodätischen Kommission gearbeitet werden. Um deren Gang gut unter Kontrolle zu halten, wurden möglichst oft kontinuierliche Zeitzeichen aufgenommen. Zudem wurden die Chronometer unter sich verglichen. Zufolge der Verwendung dieser Chronometer gelangte für die Registrierung der Vierspitzenchronograph des Geodätischen Institutes der ETH zum Einsatz.

Im Hinblick auf die Arbeiten mit einer in Entwicklung begriffenen tragbaren Quarzuhr war mit der Sternwarte Neuenburg und der Radio Schweiz AG eine Vereinbarung über die ständige Ausstrahlung des Zeitzeichens HBB getroffen worden. Dieses wurde von der Sternwarte Neuenburg aus gesteuert und von einem Sender in Münchenbuchsee auf der Frequenz 2455 kHz ausgestrahlt. Daneben wurde auch das Zeitzeichen DIZ von Nauen aufgenommen.

Alle Beobachtungen konnten, wie vorgesehen, im Zeitraum vom 29. Juli bis zum 22. September 1960 durchgeführt werden.

2.3.2 Die Stationen

Gäbris

Der Referenzpunkt Gäbris ist durch den im Jahre 1923 von der Schweizerischen Geodätischen Kommission erstellten massiven Pfeiler festgelegt (siehe Hunziker, 1929, S.5). Da der Zahn der Zeit bedenklich am Mauerwerk genagt hatte, mußte vor Beginn der Beobachtungen der Oberteil des Pfeilers ausgebessert und frisch verputzt werden.

Bei den Längenbeobachtungen vom Jahre 1923 war eine Beobachtungshütte verwendet worden, weshalb die Deckplatte des Pfeilers 145 cm über dem Erdboden liegt. Aus diesem Grund mußte für die Referenzbeobachtungen ein kleines Brettergerüst um den Pfeiler herum errichtet werden, so daß der T 4 von allen Seiten her gut zugänglich war.

Anlässlich der ersten Referenzbeobachtungen fiel auf, daß sich der Pfeiler entsprechend dem Standort des Beobachters neigte. Offenbar ist die Foundation nicht sehr tief, was sich jedoch bei den Beobachtungen von 1923 dank der ziemlich weit außen abgestützten Beobachtungshütte nicht bemerkbar gemacht hatte. Für die zweiten Referenzbeobachtungen wurde daher ein größeres Gerüst gebaut, bei dessen Betreten der Pfeiler keine Neigungsänderungen mehr aufwies.

St. Anton

Im Jahre 1960 stand über dem zentralen Punkt St. Anton der Holzturm, der anlässlich der Winkelmessungen im Basisvergrößerungsnetz vom Jahre 1959 errichtet worden war. Astronomische Beobachtungen kamen deshalb an dieser Stelle nicht in Frage. Die Schweizerische Geodätische Kommission ließ 20 m östlich des Punktes St. Anton einen runden Pfeiler von 50 cm Durchmesser und 120 cm Höhe erstellen. Die Lage des Pfeilers wurde so gewählt, daß die Beobachtungen im Meridian nicht durch den Gittermast des UKW-Senders St. Anton gestört wurden. Der Pfeiler wurde direkt auf den anstehenden Nagelfluhfels fundiert und erwies sich als sehr stabil.

Für die Bestimmung des Azimuts kamen nur die Richtungen nach Pfänder oder Hohe Kugel in Frage, da die Visuren vom astronomischen Pfeiler nach Säntis und Basis Nord durch Wald verdeckt und diejenige nach Basis Süd ebenfalls ungünstig war.

Die Beobachtungen auf St. Anton erfolgten in den Zeiten, in denen die beiden österreichischen Punkte ebenfalls besetzt waren. Die Leuchtequipe auf Pfänder signalisierte in Richtung St. Anton, während für die Beobachter auf Hohe Kugel ein Scheinwerfer montiert und in die Richtung vom zentralen Punkt St. Anton nach Hohe Kugel einvisiert wurde.

Basis Süd

Als Beobachtungspfeiler diente der über dem Basisendpunkt erstellte Betonpfeiler von 50 cm Durchmesser und 120 cm Höhe. Auch dieser Pfeiler erwies sich infolge seiner direkten Verankerung im Fels des Montlinger Berges als sehr stabil.

Als Richtung für die Azimutbeobachtungen wurde diejenige nach St. Anton gewählt. Sie ist zwar ziemlich steil, hatte aber den Vorteil, daß sie im Basisvergrößerungsnetz direkt beobachtet worden war und daß der Scheinwerfer auf dem Beobachtungsturm auf St. Anton fest eingerichtet werden konnte.

Basis Nord

Auch hier stand von der Basismessung her ein Pfeiler von 40 x 40 x 120 cm, der im Brückenwiderlager verankert war. Wie schon bei der Winkelmessung im Basisvergrößerungsnetz war das Arbeiten auf dieser Station mit verschiedenen Unannehmlichkeiten verbunden, verursacht durch Passanten, Autoscheinwerfer, Erschütterungen durch vorüberfahrende Lastwagen, Industrieabgase usw. Die Beobachtungsbedingungen konnten etwas verbessert werden, indem der Zutritt zum Arbeitsplatz nach Möglichkeit abgesperrt, die Lichtkegel der gegen die Brücke einbiegenden Autos durch eine Windschutzwand abgeschirmt und die zunächstgelegene Straßenlampe ausgeschaltet wurden.

Für die Beobachtung des astronomischen Azimuts wurde aus denselben Gründen wie bei Basis Süd die Richtung nach St. Anton gewählt.

Säntis

Auf dem Säntis erstellte die Eidg. Landestopographie im Sommer 1959 einen Betonpfeiler von 50 cm Durchmesser und 120 cm Höhe, der außer für die Winkelmessungen im Basisvergrößerungsnetz bereits auch für die astronomischen Beobachtungen disponiert worden war. Der Punkt ist gegen den Nordabsturz des Säntis stark exponiert. Deshalb wurde das über dem Fels errichtete Podium beim Beobachten angenehm empfunden. Zum Schutz der Beobachter und des Sekretärs bauten wir gegen NW eine Windschutzwand so wie in unmittelbarer Nähe der Station ein kleines Zelt auf, wo die Streifenregistrierungen ohne Störungen vor sich gingen.

Für die Bestimmung des astronomischen Azimuts war ursprünglich die Richtung nach dem Pfänder vorgesehen. Da ein großer Scheinwerfer für die 44 km lange Seite Säntis - Pfänder nicht zur Verfügung stand, wurde stattdessen das Azimut Säntis - St. Anton beobachtet.

Wie bereits im Abschnitt 2.1 erwähnt, wurde der Säntis im Jahre 1963 als Laplace-Punkt bestimmt, wobei Länge, Breite und die zwei Azimute nach Hörnli und Pfänder gemessen wurden. 1968 folgte noch eine Azimutbeobachtung nach der Weißfluh (bei Davos).

2.3.3 Die Ausgleichungen der Längen

Der Referenzwert für die Längen ist die Länge der Referenzstation Gäbris:

$37^m 52,510^s$	Triang.punkt 1. Ordnung Gäbris (Engi, 1936, S. 244)
$+ 0,073^s$	Zentrierung auf astr.Pfeiler (Hunziker, 1929, S. 131)
$37^m 52,583^s$	Länge des astronomischen Pfeilers.

Für die beobachteten Längen ergaben sich die in Tabelle 10 zusammengestellten Gruppenmittel.

Tabelle 10

Längenbeobachtungen auf den schweizerischen Stationen

Datum 1960	Station	Beob.	N	Gruppenmittel (red. auf den mittleren Pol)	m.F. an der Uhrkorr. ±	$v_{\text{Ausgl.}}$
Juli 29	Gäbris (Ref.stat.)	Wu	13	$37^m 52,551^s$	$0,014^s$	$+ 0,016^s$
29		Fi	13	52,567	0,012	$+ 0,027$
Aug. 3	St. Anton (Pf.1960)	Fi	13	52,588	0,017	$+ 0,006$
3		Wu	13	52,590	0,015	$- 0,023$
13		Fi	7 9	38 08,305	0,022 0,018	$- 0,020$
16		Wu	13	08,238	0,008	$+ 0,020$
22	Basis Süd	Wu	12	38 21,275	0,011	$+ 0,003$
23	Basis Nord	Fi	14	21,309	0,008	$- 0,004$
25		Fi	14	38 34,367	0,009	$- 0,011$
26		Wu	13	34,318	0,009	$+ 0,011$
Sep. 9		Säntis (Pf.1959)	Fi	13	37 22,169	0,011
10	Gäbris (Ref.stat.)	Wu	13	22,153	0,012	$+ 0,003$
11		Fi	14	22,171	0,010	$+ 0,012$
12		Wu	16	22,187	0,010	$- 0,031$
14		Fi	13	37 52,606	0,009	$- 0,012$
14/15	Gäbris (Ref.stat.)	Wu	13	52,570	0,015	$- 0,003$
22		Fi	15	52,606	0,010	$- 0,012$
22		Wu	15	52,567	0,009	0,000

Beob. = Beobachter: W. Fischer (Fi), N. Wunderlin (Wu);

N = Anzahl der Meridiandurchgänge;

$v_{\text{Ausgl.}}$ = Verbesserungen aus der Gesamtausgleichung

Die den Gruppenmitteln zugrundeliegenden "beobachteten Längen" beruhen auf den aus zwei Uhr-Registrierungen (Marinechronometer Nardin 34/7845 und Deckchronometer Nardin 15582) gemittelten Durchgangszeiten. Sie stellen die Differenzen der Uhrkorrekturen auf wahre Ortssternzeit und der Uhrkorrekturen auf wahre Sternzeit Greenwich dar, wobei letztere aus Zeitzeichenempfängen der Sender HBB und DIZ unter Berücksichtigung der Heure Définitive abgeleitet wurden. In einer ersten Ausgleichung wurde allen diesen Beobachtungen das gleiche Gewicht zugeteilt. Ihre Ergebnisse sind in Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11

Längenausgleichung mit aus zwei Uhr-Registrierungen gemittelten Durchgangszeiten

persönliche Gleichung: Fischer	- 0,011 ^S ± 0,008 ^S
Wunderlin	+ 0,016 ± 0,008
Länge: St. Anton (Pfeiler 1960)	38 ^m 08,274 ^S ± 0,015 ^S
Basis Süd	38 21,294 ± 0,015
Basis Nord	38 34,345 ± 0,015
Säntis (Pfeiler 1959)	37 22,172 ± 0,012

Tabelle 12

Längenausgleichungen für zwei unabhängige Uhr-Registrierungen

	Uhr 34/7845	Uhr 15282
pers. Gleichung: Fischer	- 0,019 ^S ± 0,005 ^S	- 0,021 ^S ± 0,005 ^S
Wunderlin	+ 0,013 ± 0,005	+ 0,012 ± 0,005
Länge: St. Anton (Pfeiler 1960)	38 ^m 08,280 ^S ± 0,0095 ^S	38 ^m 08,276 ^S ± 0,0095 ^S
Basis Süd	38 21,297 ± 0,010	38 21,291 ± 0,010
Basis Nord	38 34,343 ± 0,009	38 34,342 ± 0,009
Säntis (Pfeiler 1969)	37 22,157 ± 0,007	37 22,159 ± 0,007

Tabelle 13

Astronomische Längen der schweizerischen Stationen

St. Anton (Pfeiler 1960) Zentrierung	38 ^m 08,278 ^S = 9° 32' 04,17" ± 0,2" - 0,92"
St. Anton (Zentrum)	9 32 03,25" ± 0,2"
Basis Süd	38 21,294 = 9 35 19,41 ± 0,2
Basis Nord	38 34,343 = 9 38 35,14 ± 0,2
Säntis (Pfeiler 1959)	37 22,160 = 9 20 32,40 ± 0,15

Das gleiche Beobachtungsmaterial wurde außerdem zwei weiteren Ausgleichungen nach dem von Wunderlin (1969b) beschrieben, vom ersten völlig unabhängigen Verfahren unterzogen. In diesen beiden Ausgleichungen - je eine für die beiden Uhren - treten die 246 Durchgangszeiten als Beobachtungen mit gleichem Gewicht auf. Zu lösen sind 25 Unbekannte, nämlich 4 für die Längen, 19 für die Instrumentenazimute und 2 für die persönlichen Gleichungen. Sie ergaben die in Tabelle 12 mitgeteilten Werte.

Die gefundenen mittleren Fehler sind wohl etwas zu klein wegen der Nichtberücksichtigung der zwischen den Beobachtungen bestehenden, in ihrem Betrag unbekannteren Korrelationen.

Für das endgültige Mittel werden auch noch die im Jahre 1963 für die Bestimmung der Laplace-Azimute Säntis - Hörnli und Säntis - Pfänder durchgeführten Längenbeobachtungen beigezogen. Sie beruhen auf den von den gleichen Beobachtern W. Fischer und N. Wunderlin mit dem Universalinstrument Wild T4 Nr. 86968 an 8 Abenden beobachteten 111 Meridiandurchgängen, die zu folgendem Mittel (siehe Wunderlin, 1969b, S. 56-60 und 82) führten:

Säntis (Pfeiler 1959)	$37^m22,160^s \pm 0,006^s$
Zürich (Ref.station)	$34^m12,313^s$
Rigi (Ref.station)	$33^m56,399^s$

Die beiden für 1960 erhaltenen Werteserien sollten nicht gemittelt werden, da es sich ja um die Auswertung desselben Beobachtungsmaterials - nach verschiedenen Verfahren - handelt. Da die Beobachtungen 1963 nur nach der zweiten Methode ausgewertet worden sind, sollte ferner die Mittelbildung 1960/63 für Säntis nur zwischen den Resultaten dieses Verfahrens erfolgen und damit auch für die übrigen Punkte die zweite Variante (aber natürlich die Mittel beider Uhren) übernommen werden (die für diese Punkte übrigens praktisch identisch ist mit der ersten Variante).

Die Tabelle 13 enthält die definitiven Längen der vier Stationen mit geschätzten, aufgerundeten mittleren Fehlern.

2.3.4 Breite

Die Tabelle 14 gibt die Abendwerte, die Mittel der reduzierten Abendwerte, sowie geschätzte mittlere Fehler der Mittel.

Da im Jahre 1963 auf dem Punkt Säntis im Zusammenhang mit der Bestimmung der Laplace-Azimute Säntis - Hörnli und Säntis - Pfänder weitere Breitenbestimmungen durchgeführt wurden, deren Mittel sehr gut mit dem Mittel der Beobachtungen von 1960 übereinstimmt, wurde als endgültiger Wert das Gesamtmittel aus allen Beobachtungen eingeführt.

Tabelle 14

Breitenbeobachtungen auf den schweizerischen Stationen

Datum 1960	Beob.	N	Abendwert	m.F. ±	Red. auf den mittl. Pol	red..Abendwert	v
<u>St. Anton (Pfeiler 1960)</u>							
Aug. 4	Wu	3	47°24'38,20"	0,42"	+ 0,05"	47°24'38,25"	+ 0,46"
13	Wu	8	38,02	0,22	+ 0,03	38,05	+ 0,66
16	Fi	8	39,51	0,20	+ 0,03	39,54	- 0,83
Mittel						47°24'38,71"	± 0,5"
Zentrierung						- 0,18"	
St. Anton (Zentrum)						47°24'38,53"	± 0,5"
<u>Basis Süd</u>							
Aug. 22	Fi	8	47°20'23,12"	0,21"	+ 0,01"	47°20'23,13"	+ 0,51"
24	Wu	9	24,09	0,15	+ 0,01	24,10	- 0,46
Mittel						47°20'23,64"	± 0,5"
<u>Basis Nord</u>							
Aug. 25	Wu	8	47°23'34,43"	0,22"	- 0,00"	47°23'34,43"	+ 0,04"
26	Fi	8	34,51	0,33	- 0,00	34,51	- 0,04
Mittel						47°23'34,47"	± 0,5"
<u>Säntis (Pfeiler 1959)</u>							
Sep. 9	Fi	8	47°15'09,20"	0,54"	- 0,01"	47°15'09,19"	- 1,05"
10	Wu	8	08,95	0,18	- 0,01	08,94	- 0,80
11	Fi	8	07,39	0,23	- 0,02	07,37	+ 0,77
12	Wu	8	07,08	0,22	- 0,02	07,06	+ 1,08
1963	Mittel 1960					47°15'08,14"	± 0,5"
	Sep. 12./13./17./23. mit 8, 12, 8, 7 Sternpaaren (siehe Wunderlin, 1969b, S. 143)					47°15'08,07"	± 0,55"
	Gesamtmittel von 1960 und 1963					47°15'08,10"	± 0,4"

Beob. = Beobachter: W. Fischer (Fi), N. Wunderlin (Wu);
N = Anzahl der Sternpaare

Tabelle 15

Azimutbeobachtungen auf den schweizerischen Stationen

Datum 1960	Beob.	N	Gruppenmittel	m.F. ±	Red. auf den mittl. Pol	red. Gruppenmittel	v
<u>St. Anton (Pfeiler 1960) → Pfänder</u>							
Aug. 16	Wu	6	59°47'04,95"	0,55"	- 0,40"	59°47'04,55"	+ 0,33"
16	Wu	6	06,20	0,50	- 0,41	05,79	- 0,51
21	Fi	12	05,80	0,28	- 0,42	05,38	- 0,10
						59°47'05,28"	± 0,24"
Aberration						+ 0,32"	
Zentrierung beim Standpunkt (inkl. Meridianänderung von - 0,67")						+ 46,93"	
Zentrierung beim Zielpunkt						- 0,86"	
						59°47'51,67"	± 0,24"

<u>Basis Süd → St. Anton</u>							
Aug. 22	Fi	2	331°49'41,15"	0,65"	- 0,43"	331°49'40,72"	+ 0,25"
23	Fi	6	41,52	0,31	- 0,43	41,09	- 0,12
24	Wu	6	41,88	0,31	- 0,43	41,45	- 0,48
24	Fi	6	42,07	0,15	- 0,43	41,64	- 0,67
25	Wu	12	40,81	0,27	- 0,43	40,38	+ 0,59
						331°49'40,97"	± 0,16"
Aberration						+ 0,32"	
						331°49'41,29"	± 0,16"

<u>Basis Nord → St. Anton</u>							
Aug. 25	Fi	6	238°59'19,32"	0,64"	- 0,43"	283°59'18,89"	- 0,75"
25	Wu	6	18,38	0,74	- 0,43	17,95	+ 0,19
26	Wu	6	18,33	0,41	- 0,43	17,90	+ 0,24
26	Fi	6	18,25	0,37	- 0,43	17,81	+ 0,33
						283°59'18,14"	± 0,28"
Aberration						+ 0,32"	
						283°59'18,46"	± 0,28"

<u>Säntis (Pfeiler 1959) → St. Anton</u>							
Sep. 10	Fi	6	38°38'13,83"	0,87"	- 0,44"	38°38'13,39"	+ 0,25"
10	Wu	6	14,73	0,41	- 0,44	14,29	- 0,65
10/11	Wu	6	14,10	0,23	- 0,44	13,66	- 0,02
11	Fi	6	13,67	0,35	- 0,44	13,23	+ 0,41
12	Fi	6	14,37	0,24	- 0,44	13,93	- 0,29
12	Wu	6	15,03	0,29	- 0,45	14,58	- 0,94
13	Wu	6	13,68	0,53	- 0,45	13,23	+ 0,41
13	Fi	6	13,28	0,41	- 0,45	12,83	+ 0,81
						38°38'13,64"	± 0,17"
Aberration						+ 0,32"	
						38°38'13,96"	± 0,17"

Beob. = Beobachter: W. Fischer (Fi), N. Wunderlin (Wu);
N = Anzahl der Sätze (Winkel)

2.3.5 Azimut

Die Tabelle 15 gibt die Gruppenmittel der Azimutbeobachtungen, deren Mittel und die mittleren Fehler.

Für das endgültige Mittel des Azimutes Sántis - Pfänder wurden auch die Messungen des Azimutes Sántis - Hörnli vom Jahre 1963 einbezogen, die in Tabelle 16 mit dem beobachteten Winkel Hörnli - Pfänder umgerechnet wurden. Dagegen war es nicht möglich, die Messungen des Azimutes Sántis - Weissfluh von 1968 zu berücksichtigen, da ein Winkelanschluß der über 57 km entfernten Weißfluh fehlt.

Tabelle 16

Azimutbeobachtungen 1963 auf Sántis

<u>Sántis → Pfänder</u>			
1963	6 Abendwerte mit total n = 72 vom 16.8.-11.9.1963 (siehe Wunderlin, 1969b, S. 134)	48°50'35,21"	± 0,11" p = 9
<u>Sántis → Hörnli</u>			
1963	7 Abendwerte mit total n = 84 vom 11.8.-23.9.1963 (siehe Wunderlin, 1969b, S. 134)	294°08'08,25"	± 0,10"
1914/15 + 1959	beob. Winkel Hörnli - Pfänder auf Station Sántis (Stationsausgleichung, Bundesamt für Landestopographie / ETH Zürich für RETRIG)	114°42'26,45"	± 0,3"
Azimut Sántis → Pfänder		48°50'34,70"	± 0,33" p = 1
Azimut Sántis → Pfänder (Mittel 1963)		48°50'35,16"	± 0,10"

2.4 Zusammenstellung der astronomischen Längen, Breiten und Azimute sowie der astronomisch-geodätischen Lotabweichungen im schweizerischen Referenzsystem

Die astronomischen Daten aller Punkte des Basisvergrößerungsnetzes sind in der zeitlichen Reihenfolge ihrer Bestimmung in den Tabellen 18 und 19 zusammengestellt.

Die zur Berechnung der astronomisch-geodätischen Lotabweichungen erforderlichen entsprechenden geodätischen Werte benötigen die Kenntnis von Stationskoordinaten im schweizerischen Projektionssystem. Für die aus Breiten- und Längenbeobachtungen hergeleiteten ξ - und η -Komponenten würden die im Anhang 8 von Teil I zusammengestellten Landeskoordinaten genügen. Es sei aber daran erinnert, daß die beiden Basisendpunkte erst nachträglich als Punkte 4. Ordnung bestimmt wurden, während der Punkt Hohe Kugel dem schweizerischen Triangulationsnetz überhaupt nicht angehört. Die Berechnung der geodätischen Azimute im Basisvergrößerungsnetz erfordert jedoch einheitlich hergeleitete Koordinaten. Solche wurden als Grundlage für die Berechnung des Höhennetzes 1965 (siehe 3. Kapitel) bestimmt,

wobei von den Koordinaten der beiden Punkte 1. Ordnung Säntis und Pfänder ausgehend die Koordinaten der übrigen Netzpunkte unter Benützung der ausgeglichenen Richtungen des Basisvergrößerungsnetzes (aus Teil III, Tabelle 5) berechnet wurden. Tabelle 17 enthält diese Koordinaten in der Reihenfolge der punktweisen Berechnung.

Tabelle 17

Stationskoordinaten im schweizerischen Projektionssystem

Station	y	x
Säntis, Pfeiler 1959	+ 144 169,15	+ 34 918,52
Pfänder, Pfeiler	+ 176 376,04	+ 64 478,64
Hoher Freschen, Pfeiler	+ 176 861,37	+ 42 195,61
Hohe Kugel, Pfeiler 1959	+ 172 088,62	+ 45 191,20
St. Anton, Lochbolzen	+ 158 009,03	+ 53 120,73
Basis Süd, Pfeiler	+ 162 534,78	+ 45 199,87
Basis Nord, Pfeiler	+ 166 538,08	+ 51 248,91

Die Berechnung der geodätischen Längen und Breiten erfolgte auf dem Bessel-Ellipsoid aufgrund der folgenden Koordinaten des Nullpunktes, Alte Sternwarte Bern: $L_0 = 7^{\circ}26'22,50''$, $B_0 = 46^{\circ}57'08,66''$. Die geodätischen Azimute wurden schließlich mit den von Schnädelbach (1972) angegebenen Formeln unter Benützung eines Taschenrechners berechnet.

Die ξ -Komponenten der Lotabweichungen wurden als Differenzen der astronomischen und der geodätischen Breite abgeleitet, die η -Komponenten wenn immer möglich aus Längen- und aus Azimutdifferenzen (siehe Tabellen 18 und 19). Die auf den Stationen St. Anton, Basis Süd und Basis Nord zusätzlich durchgeführten Azimutbeobachtungen erlaubten es immerhin, auf den meisten Punkten des Basisvergrößerungsnetzes die η -Komponenten sowohl aus den ΔL als auch aus den ΔA herzuleiten. Für fünf Punkte konnte somit der Laplace-Widerspruch

$$w = \Delta A - \Delta L \cdot \sin B - (\xi \cdot \sin A - \eta \cdot \cos A) \cdot \operatorname{ctg} Z$$

bestimmt werden (Z = Zenitdistanz der Visur). Er bezieht sich im wesentlichen auf die Triangulationsseite 1. Ordnung Säntis - Pfänder, auf der alle übrigen Netzpunkte basieren, und beträgt im Mittel nur

$$\bar{w} = - 0,18'' \pm 0,18''.$$

Er kann somit vernachlässigt werden, so daß die beiden aus Azimuten hergeleiteten η -Komponenten von Hohe Kugel und Hoher Freschen keiner Korrektur bedürfen.

Tabelle 19

Astronomische Daten und Lotabweichungen im Schweizerischen Referenzsystem
(Punkte 1. Ordnung)

Station Bezugspunkt	astr. Breite		astr. Länge		beob. Azimut Höhenreduktion astr. Azimut geod. Azimut $\Delta A(\text{astr.}-\text{geod.})$ Mittel der ΔA $n_A = \Delta A \cdot \text{ctg} \beta$	Azimut nach Bezugspunkt Laplace- Widerspruch $w = \Delta A - \Delta L \cdot \sin \beta^1$
	geod. Breite $\Delta B(\text{astr.}-\text{geod.})$ $\xi = \Delta B$	$n_L = \Delta L \cdot \cos \beta$	geod. Länge $\Delta L(\text{astr.}-\text{geod.})$	$n_L = \Delta L \cdot \cos \beta$		
Säntis Pfeiler	$47^{\circ} 15' 08,10''$	$9^{\circ} 20' 32,40''$	$38^{\circ} 38' 13,96''$	St. Anton Lochbolzen		
	$47 15 02,79$	$9 20 40,09$	$38 38 14,02$			
	$+ 5,31''$	$- 7,69''$	$38 38 19,57$			
			$- 5,55''$			
			$48 50 35,16$	Pfänder Pfeiler		
			$+ 0,05$			
			$48 50 35,21$			
			$48 50 40,65$			
			$- 5,44''$			
			Mittel - 5,50"			
			$n_A = - 5,08''$			
			$\xi = + 5,31''$	$n_L = - 5,23''$		$w = + 0,51''$
Pfänder Pfeiler	$47 30 28,14$	$9 46 32,94$	$180 27 32,96$	Hoher Freschen Pfeiler 2)		
	$47 30 31,45$	$9 46 53,21$	$180 27 32,96$			
	$- 3,31''$	$- 20,27''$	$180 27 48,71$			
			$- 15,75''$			
			$229 09 42,82$	Säntis Pfeiler		
			$+ 0,12$			
			$229 09 42,94$			
			$229 09 58,24$			
			$- 15,30''$			
			Mittel - 15,53"			
			$n_A = - 14,22''$			
			$\xi = - 3,31''$	$n_L = - 13,75''$		$w = - 0,17''$
Hoher Freschen Pfeiler 3)	$47 18 37,40$		$0 27 21,38$	Pfänder Pfeiler		
	$47 18 29,72$	$9 46 44,63$	$0 27 21,38$			
	$+ 7,68''$		$0 27 42,39$			
			$- 21,01''$			
			$0 27 21,38$			
			$0 27 0,00$			
			$0 27 21,38$			
			$0 27 42,39$			
			$- 21,01''$			
			Mittel - 19,38"			
			$n_A = - 19,38''$			
			$\xi = + 7,68''$			

1) korrigiert um den Lotabweichungseinfluss $-(\xi \cdot \sin A - n \cdot \cos A) \cdot \text{ctg} Z$ ($Z = \text{Zenitdistanz}$)

2) Das nach Hoher Freschen, Stein beobachtete Azimut (siehe Tabelle 9) wurde um den Zentrierungsbetrag $1' 18,11''$ vermindert.

3) Die im Abschnitt 2.2.4 angegebenen Zentrierungsbeträge für die Breite und das Azimut sind hier nicht angebracht.

Tabelle 18

Astronomische Daten und Lotabweichungen im Schweizerischen Referenzsystem
(Punkte der 1. Vergrößerungsfigur)

Station Bezugspunkt	astr. Breite		astr. Länge		beob. Azimut Höhenreduktion astr. Azimut geod. Azimut $\Delta A(\text{astr.}-\text{geod.})$ Mittel der ΔA $n_A = \Delta A \cdot \text{ctg} \beta$	Azimut nach Bezugspunkt Laplace- Widerspruch $w = \Delta A - \Delta L \cdot \sin \beta^1$
	geod. Breite $\Delta B(\text{astr.}-\text{geod.})$ $\xi = \Delta B$	$n_L = \Delta L \cdot \cos \beta$	geod. Länge $\Delta L(\text{astr.}-\text{geod.})$	$n_L = \Delta L \cdot \cos \beta$		
Hohe Kugel Pfeiler 1959	$47^{\circ} 20' 19,32''$		$301^{\circ} 02' 49,35''$	St. Anton Lochbolzen		
	$47 20 11,23$	$9^{\circ} 43' 01,62''$	$301 02 49,30$			
	$+ 8,09''$		$301 03 09,45$			
			$- 20,15''$			
			$14 11 27,94$	Pfänder Pfeiler		
			$+ 0,03$			
			$14 11 27,97$			
			$14 11 47,84$			
			$- 19,87''$			
			Mittel - 20,01"			
			$n_A = - 18,44''$			
			$\xi = + 8,09''$			
St. Anton Lochbolzen	$47 24 38,53$	$9 32 03,25$	$59 47 51,67$	Pfänder Pfeiler		
	$47 24 40,63$	$9 32 01,22$	$59 47 51,72$			
	$- 2,10''$	$+ 2,03''$	$59 47 50,66$			
			$+ 1,06''$			
			$n_A = + 0,97''$			
			$\xi = - 2,10''$	$n_L = + 1,37''$		$w = - 0,44''$
Basis Süd Pfeiler	$47 20 23,64$	$9 35 19,41$	$331 49 41,29$	St. Anton Lochbolzen		
	$47 20 20,25$	$9 35 26,68$	$331 49 41,24$			
	$+ 3,39''$	$- 7,27''$	$331 49 46,79$			
			$- 5,55''$			
			$n_A = - 5,11''$			
			$\xi = + 3,39''$	$n_L = - 4,94''$		$w = - 0,39''$
Basis Nord Pfeiler	$47 23 34,47$	$9 38 35,14$	$283 59 18,46$	St. Anton Lochbolzen		
	$47 23 32,46$	$9 38 45,43$	$283 59 18,43$			
	$+ 2,01''$	$- 10,29''$	$283 59 26,45$			
			$- 8,02''$			
			$n_A = - 7,38''$			
			$\xi = + 2,01''$	$n_L = - 6,97''$		$w = - 0,43''$

1) korrigiert um den Lotabweichungseinfluss $-(\xi \cdot \sin A - n \cdot \cos A) \cdot \text{ctg} Z$ ($Z = \text{Zenitdistanz}$)

2.5 Aus sichtbaren Massen berechnete Lotabweichungen

Nachdem es seinerzeit nicht möglich war, alle Lotabweichungskomponenten aus Breiten- und Längenbestimmungen abzuleiten, wurde an der Bodenseekonferenz von 1964 in Karlsruhe (Lichte und Mälzer, 1964) die Frage diskutiert, auf welche Weise Lotabweichungen in einem einheitlichen System erhalten werden könnten. Unter anderem wurde dabei von Prof. Dr. R. Sigl vorgeschlagen, die Lotabweichungen auch aus den topographischen Massen abzuleiten. Mit der Durchführung dieser Arbeit wurde in der Folge Prof. Dr. E. Reinhart betraut (Reinhart, 1968).

Unabhängig davon wurden etwa zur gleichen Zeit von Dr. A. Elmiger auf allen Punkten mit astronomischen Beobachtungen in der Schweiz und im benachbarten Ausland, somit auch auf den sieben Stationen des Basisvergrößerungsnetzes Heerbrugg, Lotabweichungen aus sichtbaren Massen bestimmt (Elmiger, 1966, 1967, 1968, 1969, 1971, 1972). Diese Berechnungen standen zwar nicht in direktem Zusammenhang mit der Basismessung Heerbrugg, sondern dienten als Vorbereitung seiner Geoidbestimmung für die Schweiz aus astronomischen und interpolierten Lotabweichungen (Elmiger, 1975b, 1976). Sie bilden aber dennoch einen wertvollen Beitrag an das Basisvergrößerungsnetz.

In der Tabelle 20 sind nun den astronomisch-geodätischen Lotabweichungen topographisch-isostatische Lotabweichungen gegenübergestellt, wie sie aus den Berechnungen von Reinhart und Elmiger hervorgingen. Die Reihenfolge der Stationen entspricht derjenigen in Tabelle 8 in Reinhart (1968), um den Zusammenhang mit dieser zu wahren. Entsprechend der Berechnung von Elmiger wurden ihr die topographisch-isostatischen Lotabweichungen für das Modell nach Pratt mit der Ausgleichstiefe $T = 120$ km entnommen. Auch der benachbarte Punkt Gäbris, der ja bei den Längenbeobachtungen 1960 auf den schweizerischen Stationen als Längenreferenzpunkt gedient hatte, ist mit aufgenommen.

In der Tabelle 20 sind auch die Differenzen der beiden unabhängigen topographisch-isostatischen Lotabweichungen ($\xi_E - \xi_R$ und $\eta_E - \eta_R$) ausgewiesen. Als erstes fällt auf, daß die ξ -Komponenten im Mittel etwa $2,6''$ auseinanderliegen. Dies ist aber weiter nicht verwunderlich, haben doch die beiden Autoren mit völlig unterschiedlichem Datenmaterial gearbeitet. Am gravierendsten wirkt sich wohl die Tatsache aus, daß Reinhart die topographischen Massen bis zum maximalen Abstand von $D_{MAX} = 166,7$ km von jedem Aufpunkt erfaßte, während sich Elmiger in seinen Berechnungen auf einen fast 100 km kleineren Umkreis von 70 km Radius beschränkte. Dadurch wurde im zweiten Fall der Einfluß der Alpen weitgehend vernachlässigt, was sich vor allem in N-S-Richtung in kleineren ξ -Komponenten auswirkte, jedoch wegen der anschließenden Interpolation in Kauf genommen werden konnte. Erfreulich ist daneben die gute relative Übereinstimmung der beiden Methoden, waren doch auch die Felderteilung für die Topographie (Gittersystem nach geographischen bzw. ebenen Koordinaten) und weitere Parameter verschieden gewählt worden. Einzig beim Punkt Basis Nord tritt eine unerklärliche Differenz von über $2''$ im ξ auf, ohne die die gegenseitige Übereinstimmung noch viel besser wäre. In den η -Komponenten stimmen die beiden unabhängigen Berechnungen absolut und relativ recht befriedigend miteinander überein.

In der Tabelle 21 sind dann die Differenzen der topographisch-isostatischen gegenüber den astronomisch-geodätischen Lotabweichungen zusammengestellt. Sie sind

Tabelle 20

Astronomisch-geodätische und topographisch-isostatische Lotabweichungen

Station	Astronomisch-geodätische Lotabweichungen		Topographisch-isostatische Lotabweichungen				Differenzen der topographisch-isostatischen Lotabweichungen unter sich			
	ξ_a	η_a	Ber. Reinhart		Ber. Elmiger		$\Delta\xi = \xi_E - \xi_R$		$\Delta\eta = \eta_E - \eta_R$	
			ξ_R	η_R	ξ_E	η_E	$\Delta\xi'$	$\Delta\eta'$		
Pfänder	- 3,3"	-13,8"	+ 5,5"	-10,6"	+ 2,9"	-10,1"	- 2,6"	0,0"	+ 0,5"	0,0"
St. Anton	- 2,1	+ 1,4	+ 6,9	+ 2,5	+ 3,9	+ 2,1	- 3,0	- 0,4	- 0,4	- 0,9
Säntis	+ 5,3	- 5,2	+12,0	- 4,5	+ 9,1	- 3,9	- 2,9	- 0,3	+ 0,6	+ 0,1
Hohe Kugel	+ 8,1	-18,4 ¹⁾	+15,5	-16,1	+12,3	-14,8	- 3,2	- 0,6	+ 1,3	+ 0,8
Basis Süd	+ 3,4	- 4,9	+10,0	- 3,4	+6,7	- 2,2	- 3,3	- 0,7	+ 1,2	+ 0,7
Basis Nord	+ 2,0	- 7,0	+ 7,8	- 5,5	+ 7,4	- 4,7	- 0,4	(+ 2,2)	+ 0,8	+ 0,3
Hoher Freschen	+ 7,7	-19,4 ¹⁾	+14,7	-14,0	+11,8	-14,0	- 2,9	- 0,3	0,0	- 0,5
Gäbris	+ 2,6 ²⁾	- 0,5 ³⁾	+10,7	- 1,0	+ 7,9	- 0,7	- 2,8	- 0,2	+ 0,3	- 0,2
Mittel (Δ_m) m_Δ	+ 3,0"	- 8,5"	+10,4"	- 6,6"	+ 7,8"	- 6,0"	- 2,6 (- 0,4")		+ 0,5"	0,0"
							$\pm 0,9"$			$\pm 0,6"$

¹⁾ aus Azimuten abgeleitet

²⁾ beobachtet 1885

³⁾ beobachtet 1923) aus Elmiger (1971)

Tabelle 21

Vergleich der topographisch-isostatischen mit den astronomisch-geodätischen Lotabweichungen

Station	Berechnung Reinhart					Berechnung Elmiger				
	$\Delta\xi = \xi_R - \xi_a$	$\Delta\xi'$	$\Delta\eta = \eta_R - \eta_a$	$\Delta\eta'$	$\Delta\eta''$	$\Delta\xi = \xi_E - \xi_a$	$\Delta\xi'$	$\Delta\eta = \eta_E - \eta_a$	$\Delta\eta'$	$\Delta\eta''$
Pfänder	+ 8,8"	+ 1,4"	+ 3,2"	+ 1,3"	+ 1,8"	+ 6,2"	+ 1,4"	+ 3,7"	+ 1,3"	+ 1,7"
St. Anton	+ 9,0	+ 1,6	+ 1,1	- 0,8	- 0,3	+ 6,0	+ 1,2	+ 0,7	- 1,7	- 1,3
Säntis	+ 6,7	- 0,7	+ 0,7	- 1,2	- 0,7	+ 3,8	- 1,0	+ 1,3	- 1,1	- 0,7
Hohe Kugel	+ 7,4	0,0	+ 2,3	+ 0,4	+ 0,9	+ 4,2	- 0,6	+ 3,6	+ 1,2	+ 1,6
Basis Süd	+ 6,6	- 0,8	+ 1,5	- 0,4	+ 0,1	+ 3,3	- 1,5	+ 2,7	+ 0,3	+ 0,7
Basis Nord	+ 5,8	- 1,6	+ 1,5	- 0,4	+ 0,1	+ 5,4	+ 0,6	+ 2,3	- 0,1	+ 0,3
Hoher Freschen	+ 7,0	- 0,4	+ 5,4	(+ 3,5)	---	+ 4,1	- 0,7	+ 5,4	(+ 3,0)	---
Gäbris	+ 8,1	+ 0,7	- 0,5	- 2,4	- 1,9	+ 5,3	+ 0,5	- 0,2	- 2,6	- 2,2
Mittel (Δ_m) m_Δ	+ 7,4"	0,0"	+ 1,9"	(- 0,5")	0,0"	+ 4,8"	0,0"	+ 2,4"	(- 0,4")	0,0"
		$\pm 1,1"$		$\pm 1,8"$	$\pm 1,2"$		$\pm 1,1"$		$\pm 1,8"$	$\pm 1,5"$

Tabelle 22

Astronomisch-geodätische und prädierte Lotabweichungen

Station	Astronomisch-geodätische Lotabweichungen		Prädierte Lotabweichungen		Unterschied der prädierten gegenüber den astronomisch-geodätischen Lotabweichungen			
	ξ_a	η_a	ξ_p	η_p	$\Delta\xi = \xi_p - \xi_a$	$\Delta\xi'$	$\Delta\eta = \eta_p - \eta_a$	$\Delta\eta'$
Pfänder ¹⁾	- 3,3"	-13,8"	- 3,1"	-13,4"	+ 0,2"	+ 0,1"	+ 0,4"	+ 0,4"
St. Anton	- 2,1	+ 1,4	- 1,7	+ 1,7	+ 0,4	+ 0,3	+ 0,3	+ 0,3
Säntis ¹⁾	+ 5,3	- 5,2	+ 4,8	- 5,3	- 0,5	- 0,6	- 0,1	- 0,1
Hohe Kugel	+ 8,1	-18,4	+ 8,7	-19,3	+ 0,6	+ 0,5	- 0,9	- 0,9
Basis Süd ¹⁾	+ 3,4	- 4,9	+ 2,8	- 4,4	- 0,6	- 0,7	+ 0,5	+ 0,5
Basis Nord	+ 2,0	- 7,0	+ 2,2	- 7,3	+ 0,2	+ 0,1	- 0,3	- 0,3
Hoher Freschen ¹⁾	+ 7,7	-19,4	+ 8,5	-18,4	+ 0,8	+ 0,7	+ 1,0	+ 1,0
Gäbris ¹⁾	+ 2,6	- 0,5	+ 2,4	- 1,2	- 0,2	- 0,3	- 0,7	- 0,7
Mittel (Δ_m) m_Δ	+ 3,0"	- 8,5"	+ 3,1"	- 8,5"	+ 0,1"	0,0"	0,0"	0,0"
						$\pm 0,5"$		$\pm 0,6"$

¹⁾ Stützpunkt für die Prädiktion

im Mittel (Δ_m) bei beiden Berechnungen im ξ relativ groß, im η dagegen nur etwa $+ 2''$, und zeigen im wesentlichen die Fehler auf, die durch die beschränkte Erfassung der Erdoberfläche und andere Einflüsse wie Störmassen bei der topographisch-isostatischen Bestimmung verursacht werden.

Wichtigstes Ergebnis dieser Gegenüberstellung ist die kräftige Abweichung in der η -Komponente von Hoher Freschen, die bei beiden Berechnungen rund $+ 3''$ gegenüber dem Mittel der übrigen Stationen beträgt. Aus ihr muß wohl geschlossen werden, daß η_* zu klein ist. Ein Fehler in der Berechnung des geodätischen Azimuts konnte nicht aufgefunden werden, so daß angenommen werden muß, daß das astronomische Azimut zu klein ist. Tatsächlich wird in der Gegenüberstellung im Abschnitt 2.2.5 darauf hingewiesen, daß das Azimut von 1968 um $- 1,09''$ von der Bestimmung von 1937 abweicht. Die Ursache dürfte aber heute kaum mehr festgestellt werden können.

Eine etwas größere Abweichung weist zudem die η -Komponente vom Gäbris auf, ohne die die Differenzen im Mittel $m_{\Delta} = \pm 0,9''$ bei Reinhart bzw. $m_{\Delta} = \pm 1,2''$ bei Elmiger betragen würden. Diese Streuungen sind erwartungsgemäß deutlich größer als diejenigen der beiden topographisch-isostatischen Bestimmungen unter sich ($m_{\Delta} = \pm 0,6''$). Sie stehen auch in guter Übereinstimmung mit denjenigen bei den ξ -Komponenten ($m_{\Delta} = \pm 1,1''$ bei Reinhart wie bei Elmiger).

Heute besteht nun auch die Möglichkeit, Lotabweichungen mit Prädiktionsmethoden zu bestimmen und die astronomisch-geodätisch hergeleiteten Werte damit zu testen. Dr. A. Elmiger und Dr. W. Gurtner haben für das Gebiet der Schweiz ein Programmsystem entwickelt, das erlaubt, in einem beliebigen Stationspunkt die Lotabweichungskomponenten und die Geoidhöhe zu präzisieren (Gurtner und Elmiger, 1983). Die mit diesem Programm für die Punkte des Basisvergrößerungsnetzes Heerbrugg und den Gäbris bestimmten Lotabweichungskomponenten sind in der Tabelle 22 den astronomisch-geodätischen Lotabweichungskomponenten gegenübergestellt.

Die Unterschiede zwischen prädisierten und astronomisch-geodätischen Werten betragen im Mittel nur etwa $0,5''$. Dabei ist allerdings zu sagen, daß von den acht Stationen deren fünf als Stützpunkte für die Prädiktion benützt werden. Aber auch für die übrigen Stationen ist die Übereinstimmung erfreulich gut, was wohl den Schluß zuläßt, daß die hergeleiteten Datensätze (sowohl astronomisch-geodätisch als auch topographisch-isostatisch) keine nennenswerten Widersprüche aufweisen.

3. GEOIDISCHE UND ELLIPSOIDISCHE HÖHEN

3.1 Das Höhennetz 1965

Wie in der Einleitung zu diesem Heft dargelegt, müssen bei einer dreidimensionalen Ausgleichung des Basisvergrößerungsnetzes die Höhenwinkel zwischen den Netzpunkten bekannt sein. Zudem erfordert die korrekte Reduktion der im Basisvergrößerungsnetz ausgeführten Distanzmessungen auf ein Referenzellipsoid die Kenntnis der ellipsoidischen Höhen der Netzpunkte, d.h. der Abstände zwischen Stationspunkt und Ellipsoid längs den Ellipsoidnormalen. Die vorhandenen österreichischen und schweizerischen "Gebrauchshöhen" der Punkte des Vergrößerungsnetzes sind nach Art ihrer Bestimmung aus Nivellement und Höhenwinkelbeobachtungen als genähert geoidische Höhen anzusehen. Die Bezugsfläche dieser "Gebrauchshöhen" ist daher ein mathematisch nicht näher definiertes Geoidstück, dessen Form und Lage gegenüber einer mathematisch einfachen Fläche, etwa einem Ebenenstück oder einem Ellipsoidstück, hätte bestimmt werden müssen. Als Methode wäre die Ableitung von Geoiderhebungen mittels "astronomischem Nivellement" in Frage gekommen. Da dieser Weg zu aufwendig erschien, entschloß sich die Schweizerische Geodätische Kommission, mittels trigonometrischer Höhenbestimmung direkt ellipsoidische Höhen abzuleiten.

Werden beobachtete Höhenwinkel, die sich auf die Lotrichtung im Beobachtungspunkt beziehen, auf die Normale des Referenzellipsoids umgerechnet, so lassen sich aus ihnen mit Hilfe der üblichen Höhenformeln streng ellipsoidische Höhen bestimmen. Die für diese Umrechnungen auf jedem Stationspunkt benötigten Lotabweichungskomponenten ξ und η müssen auf einer Anzahl von Punkten gegeben sein, etwa aus astronomischen Beobachtungen oder allenfalls auch aus genügend genauen Berechnungen aus "sichtbaren Massen". Auf den übrigen Punkten können sie dann gemeinsam mit den ebenfalls unbekanntem ellipsoidischen Höhen als Unbekannte bestimmt werden, bei Vorliegen überschüssiger Beobachtungen wohl meist in einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate. Da dieses Verfahren schon vielfach beschrieben und angewendet worden ist (z.B. in Wunderlin, 1966, 1967, 1971), wird es hier nicht näher erläutert.

Außer den ellipsoidischen interessieren auch möglichst gut bestimmte geoidische Höhen, die man dadurch gewinnt, daß man die beobachteten Höhenwinkel mit Hilfe der Lotkrümmungskomponenten reduziert. Man erreicht damit, daß die korrigierten Werte sich auf ein Geoidstück beziehen und nicht auf verschiedene Niveauflächen, wie das bei den beobachteten Höhenwinkeln der Fall ist.

Da die von österreichischen und schweizerischen Stellen durchgeführten älteren Höhenbestimmungen nicht die heute erreichbare Genauigkeit aufweisen, weil sie nur zur Ableitung von Gebrauchshöhen dienen sollten, waren neue, genauere Beobachtungen unumgänglich. Es wäre erwünscht gewesen, die Höhenwinkel zwischen den Punkten des Basisvergrößerungsnetzes selbst zu messen. Die geforderte Genauigkeit der Höhenwinkel hätte sich jedoch zufolge der großen Visurlängen auch bei größtem Arbeitsaufwand nicht erreichen lassen. Neben den großen Schwierigkeiten, die bei der Beobachtung über so große Distanzen in jedem Fall auftreten, ist es hauptsächlich die zu wenig genau erfaßbare Refraktion, welche das Erreichen der nötigen Genauigkeit bei den Höhenwinkelmessungen als unmöglich erscheinen läßt. Die durch Rechnung gewonnenen Refraktionswinkel sind in jedem Fall so unsicher, daß die für die Netzpunkte geforderte Höhengenaugkeit nur erreicht werden kann, wenn die Visurlängen wesentlich kürzer als die meisten der im Basisnetz vorhandenen sind.

Man war demzufolge gezwungen, das Basisvergrößerungsnetz nordöstlich des "kleinen" Vierecks (Basis Süd - St. Anton - Basis Nord - Hohe Kugel) durch die vierpunkte Meldegg, Fussach, Schwende, Staufenspitz und südwestlich davon durch die drei Punkte Sommersberg, Fäneren, Ebenalp auf im ganzen 14 Punkte zu ergänzen. Das so entstandene Höhennetz 1965 ist in der Abbildung 2 dargestellt.

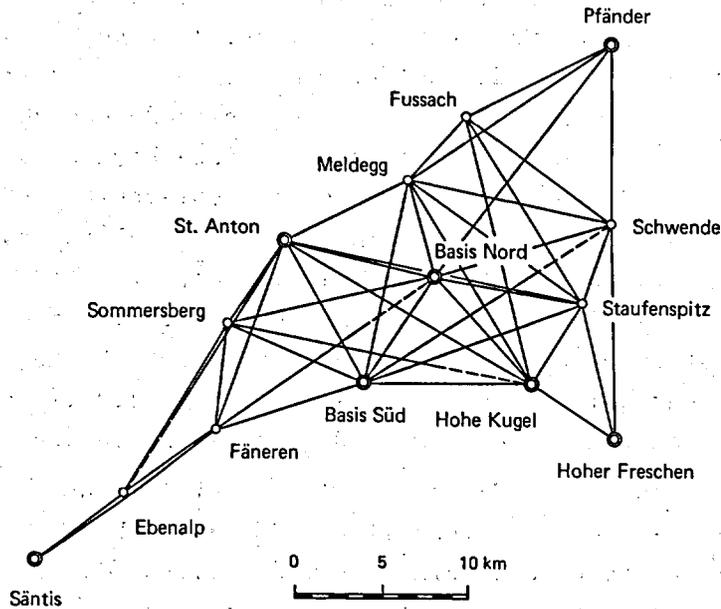


Abbildung 2: Höhennetz 1965

3.2 Die Beobachtungen

Die Feldarbeiten in diesem Höhennetz wurden durch Diplomanden der Abteilung für Kulturtechnik und Vermessung und durch Assistenten des Institutes für Geodäsie und Photogrammetrie der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich im Rahmen eines Vermessungskurses unter der Leitung von Prof. Dr. F. Kobold im Sommer 1965 durchgeführt. Dabei wurden auf den beiden Neupunkten Meldegg und Ebenalp auch astronomische Längen- und Breitenbestimmungen nach den Methoden von Zinger und Sterneck vorgenommen. Über die Höhenwinkelmessungen und über die astronomischen Arbeiten liegen Berichte an die Schweizerische Geodätische Kommission von H. Chablais (1966, 1967) und W. Meier (1966, 1967) vor.

Die Höhenwinkel wurden, zu einem großen Teil auf mehr als einen Tag verteilt, durchschnittlich 14 mal beobachtet (kleinster Wert: 4 mal, größter Wert: 21 mal). Der durchschnittliche mittlere Fehler einer einzelnen Höhenwinkelmessung, berechnet aus der Streuung der Einzelmessungen um ihr Mittel, beträgt $\pm 9^{\text{cc}}$ (kleinster Wert: $\pm 3^{\text{cc}}$, größter Wert: $\pm 34^{\text{cc}}$). Das Beobachten vom Morgen bis am Abend über die großen Distanzen, die im Durchschnitt 10 km, im Maximum 17 km betragen, war schwierig; die großen mittleren Fehler rühren aber zu einem kleinen Teil von mangelhafter Erfassung der Ziele her, sondern überwiegend von den großen Schwankungen der Refraktion im Verlaufe eines Tages (Beobachtungen waren zwischen 9 und 17 Uhr erlaubt) oder an verschiedenen Tagen.

Neben den Höhenwinkeln wurden auch Richtungssätze auf den Punkten des Basisvergrößerungsnetzes und auf den neuen Punkten des Höhennetzes 1965 gemessen. Zur Verstärkung des Höhennetzes wurden zudem die beiden Strecken Ebenalp - Sämtis

und Ebenalp - Fäneren mit dem Geodimeter 6 bestimmt. Aufgrund dieser Messungen wurden die sieben zusätzlichen Punkte des Höhennetzes durch vermittelnde Ausgleichung in das Basisvergrößerungsnetz eingeschaltet, dessen Koordinaten aus den Landeskoordinaten von Säntis und Pfänder und den ausgeglichenen Richtungen hergeleitet worden waren (Tabelle 17). Tabelle 23 gibt nun die vollständigen Koordinaten des Höhennetzes 1965 im schweizerischen Projektionssystem, die als Grundlage zur Berechnung der Höhendifferenzen wie auch der astronomisch-geodätischen Lotabweichungen dienen.

Tabelle 23

Stationskoordinaten des Höhennetzes 1965
im schweizerischen Projektionssystem

Station	y	x
Säntis, Pfeiler	+ 144 169,15	+ 34 918,52
Pfänder, Pfeiler	+ 176 376,04	+ 64 478,64
Hoher Freschen, Pfeiler	+ 176 861,37	+ 42 195,61
Hoher Freschen, Stein	+ 176 852,96	+ 42 194,08
Hoher Freschen, exz. Signal	+ 176 861,22	+ 42 197,18
Hohe Kugel, Pfeiler 1959	+ 172 088,62	+ 45 191,20
Hohe Kugel, Stein	+ 172 093,47	+ 45 193,90
Hohe Kugel, exz. Signal	+ 172 092,57	+ 45 195,06
St. Anton, Lochbolzen	+ 158 009,03	+ 53 120,73
Basis Süd, Pfeiler	+ 162 534,78	+ 45 199,87
Basis Nord, Pfeiler	+ 166 538,08	+ 51 248,91
Meldegg ETH, Pfahl	+ 164 941,71	+ 56 579,09
Meldegg ETH, Astro-Station	+ 164 937,0	+ 56 569,5
Fussach ETH, Pfahl	+ 168 256,05	+ 60 310,96
Schwende ETH, Pfahl	+ 176 571,08	+ 54 277,03
Staufenspitz, Stein	+ 174 930,27	+ 49 834,12
Sommersberg, Stein	+ 154 902,82	+ 48 391,49
Fäneren ETH, Pfahl	+ 154 297,63	+ 42 455,45
Ebenalp, Stein	+ 149 178,15	+ 38 762,26
Ebenalp, exz. Signal	+ 149 191,47	+ 38 775,11
Ebenalp, Astro-Station	+ 149 193,7	+ 38 774,7

Die Ergebnisse der astronomischen Beobachtungen sind Meier (1967) entnommen und in der Tabelle 24 zusammengestellt. Die astronomischen Längen beziehen sich auf die Länge der als Referenzpunkt benützten Station Gäbris. Der relativ große mittlere Fehler der Längen dürfte auf die kleine Zahl der Beobachtungen und auf die geringe Erfahrung der Beobachter bei Längenbestimmungen nach Zinger zurückzuführen sein, während der mittlere Fehler der Breiten wohl eher als zu günstig angesehen werden muß. Jedenfalls genügen die Resultate als Grundlage für die Bestimmung von Lotabweichungen. Die für die Ableitung der Lotabweichungskomponenten in Tabelle 24 benötigten geodätischen Koordinaten waren nach Odermatt (1960) aus den Projektionskoordinaten in Tabelle 23 ermittelt worden.

Station Bezugspunkt	astr. Breite geod. Breite 2) $\Delta B(\text{astr.-geod.})$ $\xi = \Delta B$	astr. Länge 1)	astr. Länge geod. Länge 3) $\Delta L(\text{astr.-geod.})$ $\eta = \Delta L \cdot \cos B$
Ebenalp Astro-Station	$47^{\circ}17'11,5'' \pm 0,26''$ 47 17 03,6 + 7,9" $\xi = + 7,9''$	$37^{\text{m}}39,367^{\text{s}} \pm 0,043^{\text{s}}$	$9^{\circ}24'50,51'' \pm 0,65''$ 9 24 43,61 + 6,91" $\eta = + 4,7''$
Meldegg ETH Astro-Station	$47 26 24,7 \pm 0,20$ 47 26 26,1 - 1,4" $\xi = - 1,4''$	$38 30,429 \pm 0,047$	$9 37 36,44 \pm 0,71$ 9 37 36,18 + 0,26" $\eta = + 0,2''$

Tabelle 24: Astronomische Daten und Lotabweichungen der Punkte Ebenalp und Meldegg ETH

- 1) aus Ausgleichung mit verschiedenen Gewichten
- 2) berechnet nach Odermatt (1960) mit der darin benützten Breite des Koordinaten-Nullpunkts $B_0 = 46^{\circ}57'08,66''$
- 3) berechnet nach Odermatt (1960) und mit der Länge $L_0 = 0^{\text{h}}29^{\text{m}}45,500^{\text{s}} = 7^{\circ}26'22,50''$ für den Koordinaten-Nullpunkt

3.3 Die Berechnungen

3.3.1 Die Lotabweichungen

Die als Festwerte in die Höhenausgleichung eingeführten, aus den astronomisch bestimmten Koordinaten der Netzpunkte und den entsprechenden ellipsoidischen Werten bestimmten Lotabweichungskomponenten sind in Tabelle 25 gegeben. Die aus den Stationskoordinaten in Tabelle 23 abgeleiteten ellipsoidischen Koordinaten beziehen sich auf das Projektionsellipsoid der schweizerischen Landesvermessung (Bessel'sches Ellipsoid) und die Nullpunktswerte $B_0 = 46^{\circ}57'07,89''$, $L_0 = 7^{\circ}26'22,50''$. Diese Lotabweichungskomponenten weichen aus zwei Gründen von den im 2. Kapitel angegebenen Werten ab:

1. zufällig, weil die definitiven astronomischen Werte zur Zeit der Berechnung des Höhennetzes noch nicht berechnet waren,
2. systematisch, weil sie aus ellipsoidischen Längen und Breiten abgeleitet wurden, für welche als Breite des Koordinaten-Nullpunktes $B_0 = 46^{\circ}57'07,89''$ benützt wurde statt der in der Landesvermessung verwendeten "klassischen" Nullpunktsbreite $B_0 = 46^{\circ}57'08,66''$, mit der die im 2. Kapitel gegebenen ξ -Werte berechnet sind. (Die im Höhennetz 1965 verwendeten ξ sind somit rund 0,8" größer als die im Abschnitt 2.4 und in Tabelle 24 zusammengestellten Werte.)

Station	Lotabweichung		Lotkrümmung	
	ξ	η	$\Delta\xi$	$\Delta\eta$
Säntis	+ 6,0"	- 5,2"	+ 0,5"	- 1,5"
Pfänder	- 2,6	- 13,5	- 0,5	- 0,2
Hoher Freschen	+ 8,7	- 17,5	+ 2,3	- 2,5
Hohe Kugel	+ 8,8	- 18,3	+ 1,5	- 1,3
St. Anton	- 1,4	+ 1,4	- 1,4	0,0
Basis Süd	+ 4,2	- 4,9	- 0,2	+ 0,2
Basis Nord	+ 2,8	- 7,0	0,0	0,0
Meldegg ETH	- 0,7	+ 0,2	- 1,0	+ 1,3
Fussach ETH			0,0	0,0
Schwende ETH			0,0	- 3,7
Staufenspitz			+ 1,4	0,0
Sommersberg			- 0,9	+ 1,7
Fäneren ETH			+ 1,3	- 0,9
Ebenalp	+ 8,7	+ 4,6	+ 1,0	+ 3,3

Tabelle 25: Astronomisch-geodätische Lotabweichungen und aus sichtbaren Massen berechnete Lotkrümmungen im Höhennetz 1965

3.3.2 Die Lotkrümmungen

Die Tabelle 25 enthält auch die aus sichtbaren Massen berechneten Lotkrümmungen. Sie wurden als Differenzen der entsprechenden Lotabweichungskomponenten an der Erdoberfläche und auf Meereshöhe gebildet, wobei diese Lotabweichungskomponenten für alle Stationen aus den "sichtbaren Massen" in einem einheitlichen Einzugsgebiet von 50 km auf 60 km rechnerisch bestimmt wurden. Es wurde dazu ein von Dr. P. Müller (1966) aufgestelltes Programm benützt, das später von Dr. A. Elmiger (1975a) neu geschrieben wurde. Die Berechnungen erfolgten auf der Rechenanlage CDC 1604-A des Rechenzentrums der ETH Zürich.

Für den Punkt St. Anton - nur für diesen einen Punkt - wurde die Lotkrümmung versuchsweise auch aus Schweremessungen bestimmt. Die Methode wurde von Prof. Dr. F. Gassmann und Dr. P. Müller entwickelt und auf dieses Beispiel angewendet (Gassmann und Müller, 1961). Als Grundlage dienten Schweremessungen im Punkt St. Anton und in je 16 mehr oder weniger regelmäßig in zwei konzentrisch um diesen Punkt angeordneten Quadraten von rund 1170 m bzw. 585 m Maschenweite verteilten Stationen (Hunziker, 1961). Das Resultat dieser Lotkrümmungsbestimmung ist in der Tabelle 26 dargestellt, und zwar sind die von den sichtbaren Massen (in einem quadratischen Einzugsgebiet von 40 km Seitenlänge), der Normalschwere und den unsichtbaren Massen herrührenden Anteile einzeln aufgeführt (Gassmann und Müller, 1961, S. 328). Die mittleren Fehler betragen nur etwa 10 % der Lotkrümmungskomponenten, weil die zur Berechnung der Winkel ψ' und ψ'' benötigten Koeffizienten eines Polynoms 2. Grades mit hoher Genauigkeit aus einer vermittelnden Ausgleichung der 17 Schwerewerte des großen Quadrates hervorgingen. Die in Tabelle 25 ausgewiesenen Lotkrümmungskomponenten passen verhältnismäßig gut zu diesem

Resultat, was wie schon bei Fischer (1962) den Schluß zuläßt, daß die Berechnung aus sichtbaren Massen in einem relativ engen Umkreis genügend genaue Werte für die Lotkrümmung liefert.

Anteil	$\psi' = \Delta\xi$	$\psi'' = \Delta\eta$
aus sichtbaren Massen	- 1,00"	+ 0,50"
aus Normalschwere	+ 0,19	- 0,01
aus unsichtbaren Massen	+ 0,27	- 0,17
Total	- 0,54" \pm 0,04"	+ 0,32" \pm 0,03"
aus Tabelle 25	- 1,4"	0,0"

Tabelle 26: Lotkrümmungskomponenten aus Schweremessungen für den Punkt St. Anton

3.3.3 Die Refraktionswinkel

Das schwierigste Problem bei der Ausgleichung von Höhennetzen liegt darin, die im Zeitpunkt der Messung vorhandenen Refraktionswinkel zu erfassen. Angeregt durch die Untersuchungen von Kukkamäki (1938) und Levallois (Levallois et de Masson d'Autume, 1953) wurde von N. Wunderlin ein Verfahren zur Bestimmung von Refraktionswinkeln entwickelt, das die örtlichen und zeitlichen meteorologischen Verhältnisse berücksichtigt. Über die Methode, die sich bewährt hat, und über seine eingehenden Untersuchungen sei auf Wunderlin (1970b, 1979) verwiesen. Hier sei nur erwähnt, daß die Refraktionswinkel aus einem Integral der Krümmung des Lichtstrahles über die ganze Visur berechnet werden. Die Krümmung selbst hängt wesentlich vom Temperaturgradienten ab, bei dessen Berechnung folgende Größen berücksichtigt werden: Lage auf der Erdkugel, Datum, Tageszeit, Bewölkungsgrad, Windstärke, Dampfdruck, Höhe über einem "mittleren" Gelände.

Alle 1115 Höhenwinkel auf den 82 Visuren des Netzes wurden einzeln mit den für sie berechneten Refraktionswinkeln korrigiert. Für jede Visur wurde sodann das Mittel aus diesen korrigierten Höhenwinkeln gebildet und, wie für die beobachteten Höhenwinkel, aus der Streuung der Einzelmessungen um ihr Mittel der mittlere Fehler eines einzelnen korrigierten Winkels berechnet. Im Durchschnitt wurde dieser nur unwesentlich kleiner als derjenige der beobachteten Winkel, was darauf zurückzuführen ist, daß bei den rechnerisch aus dem Atmosphärenmodell bestimmten Refraktionswinkeln die zufälligen, kurzfristigen, zum Teil sehr großen Refraktionsanomalien praktisch nicht erfaßt werden. Die Refraktionsrechnungen vermindern aber bis zu einem gewissen Grad die systematischen Einflüsse wie die zeitlichen Refraktionsänderungen im Laufe eines Tages (oder von Tag zu Tag) und die örtlichen, geländebedingten Refraktionsunterschiede von Visur zu Visur. Als Beispiele sind in der Abbildung 3 die während des ganzen Tages beobachteten Höhenwinkel β und die gerechneten Refraktionswinkel δ für die Messungen vom 6. August 1965 auf drei ganz verschiedenen Visuren von der Station Basis Nord aus dargestellt.

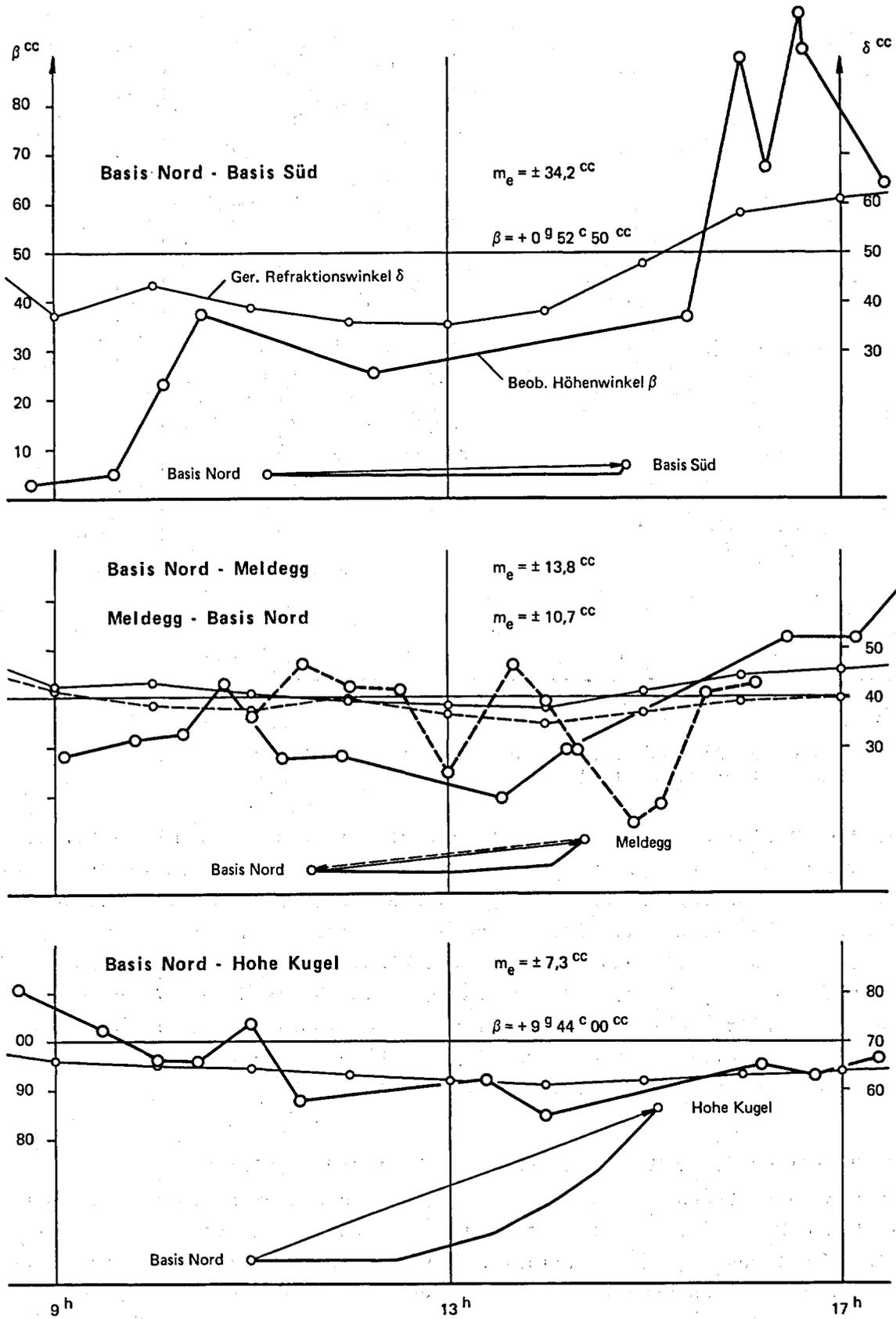


Abbildung 3: Beobachtete Höhenwinkel und gerechnete Refraktionswinkel vom 6. August 1965

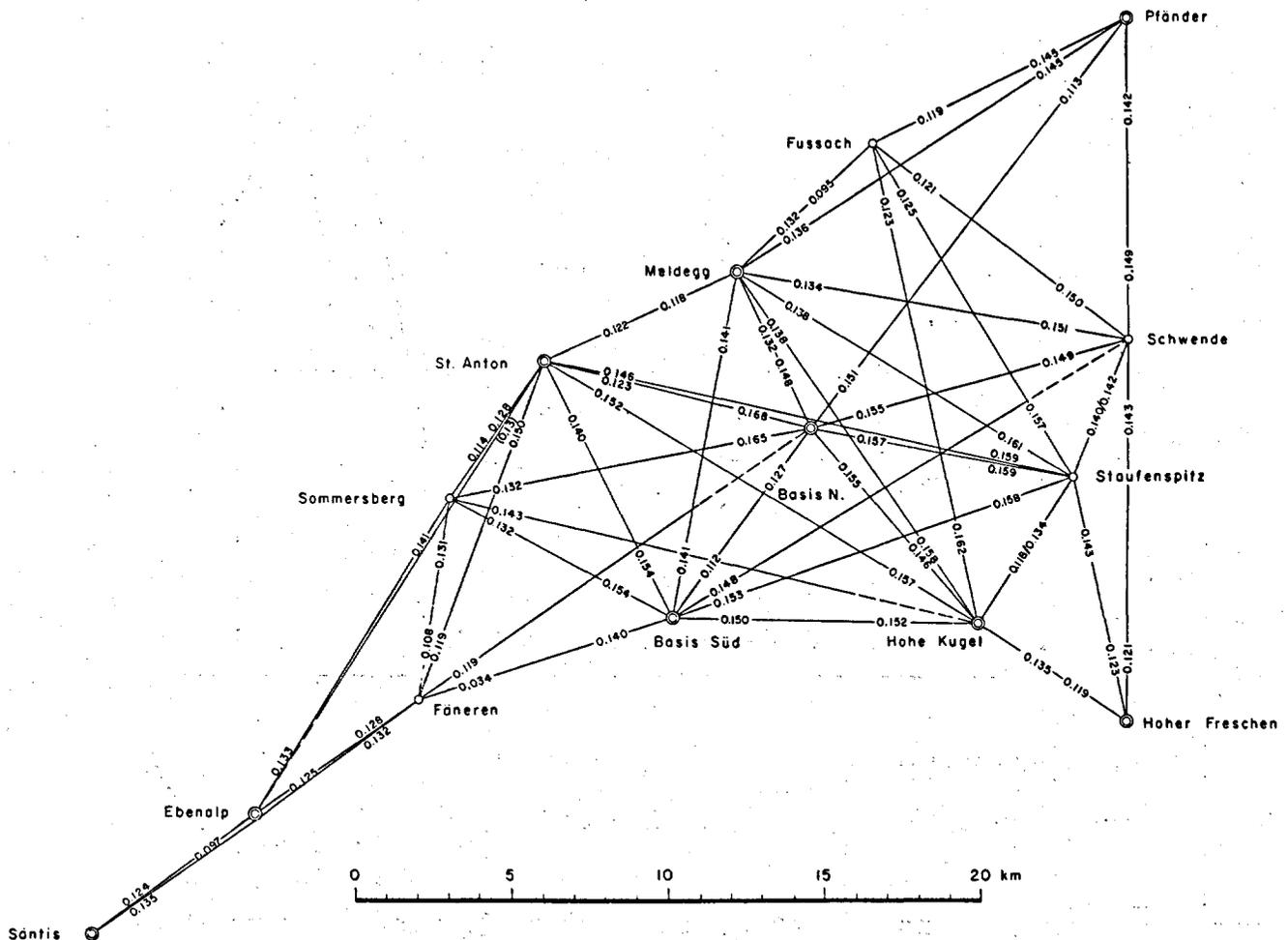


Abbildung 4: Aus einem Atmosphärenmodell rechnerisch bestimmte Refraktionskoeffizienten k

In der Abbildung 4 sind diejenigen Refraktionskoeffizienten k zusammengestellt, welche bei Annahme eines kreisförmigen Lichtweges einzuführen wären, um die gleichen - gemittelten - Refraktionswinkel δ_M zu erhalten, wie sie die Rechnung ergeben hatte. Sie zeigt, daß weder für eine Station (d.h. alle ihre Visuren), noch für einen Tag (d.h. alle dann beobachteten Visuren) ein einheitlicher Refraktionskoeffizient eingeführt werden darf (vgl. z.B. Basis Nord). Auch für ein und dieselbe Visur gilt nicht nur ein einziger Refraktionswert, selbst nicht bei gleichzeitiger, gegenseitiger Beobachtung (vgl. z.B. Säntis - Ebenalp). Noch mehr variieren die Refraktionswerte verschiedener Tage.

3.3.4 Die Ausgleichung des Höhennetzes mit verschiedenen Ansätzen

Die Ausgleichung des Höhennetzes zur Bestimmung der unbekannt geoidischen und ellipsoidischen Höhen sowie der Lotabweichungskomponenten erfolgte nach dem von N. Wunderlin (1967) beschriebenen Verfahren, das sich bei ähnlichen Untersuchungen in den Schweizer Alpen bewährt hatte. Ein Auszug aus dem Bericht an die Schweiz Geodätische Kommission über die Ausgleichung des Heerbrugger Höhennetzes findet sich in Wunderlin (1971) und wird im folgenden nochmals kurz zusammengefaßt.

Mit dem im Höhennetz Heerbrugg vorliegenden Beobachtungsmaterial wurden verschiedene Ausgleichungen zur Abklärung der beiden folgenden Fragen durchgeführt:

1. Führen die beobachteten Höhenwinkel, korrigiert mit Refraktionswinkeln, welche aus einem für alle Visuren geltenden, aus der Ausgleichung als Unbekannte bestimmten Refraktionskoeffizienten k (kreisbogenförmiger Lichtweg!) abgeleitet sind, oder die mit rechnerisch (nach Abschnitt 3.3.3) bestimmten, individuellen Refraktionswinkeln korrigierten Höhenwinkel zu besseren Resultaten?
2. Welchen Einfluß haben verschiedene Gewichtsannahmen für die Höhenwinkelbeobachtungen?

Es wurden folgende Gewichte untersucht:

$$p = \text{konst} \cdot n$$

$$p = \text{konst} \cdot \frac{n}{m_e} = \frac{\text{konst}}{m_M}$$

$$p = \text{konst} \cdot n \cdot \frac{\text{mittlere Visurhöhe über Grund}^1)}{\text{Visurlänge}}$$

mit n = Anzahl der einzelnen Höhenwinkelmessungen, die den als "Beobachtungen" in die Ausgleichung eingeführten Visurmitteln M zugrundeliegen.

Zur Wahl der dritten Gewichtsformel, die wie die erste eine theoretische Annahme darstellt, ist zu bemerken, daß sie einigermaßen der tatsächlich festgestellten Beobachtungsgenauigkeit entspricht, wie sie sich in den mittleren Fehlern m_e einer einzelnen Höhenwinkelmessung zeigt. Nicht berücksichtigt ist in diesem Ansatz das Wetter, welches natürlich einen wesentlichen Einfluß auf die Beobachtungsgenauigkeit hat. Falls für die mittleren Fehler m_M der Höhenwinkelmittel keine oder nur unsichere Angaben (bei kleinen Wiederholungszahlen n) vorhanden sind, ist dieser Gewichtsansatz dem primitiveren $p = \text{konst} \cdot n$ vorzuziehen.

Als "Beobachtungen" werden in der Ausgleichung die gemittelten Höhenwinkel betrachtet, auch wenn sie nicht im eigentlichen Sinne beobachtete Werte, sondern bereits mit Korrekturen versehene darstellen.

Bei den Ausgleichungen für geoidische Höhen wurden die beiden Punkte Basis Nord und Basis Süd als Höhenfestpunkte eingeführt, da für sie nivellierte Höhen (welche als geoidisch betrachtet werden dürfen) vorlagen. Der sich senkende Punkt Basis Nord wurde 1969 neu nivelliert und für seine Höhe im Jahre 1965 der interpolierte Wert 415,66 m eingeführt.

Bei den Ausgleichungen für ellipsoidische Höhen wurde als einziger (notwendiger) Höhenfestpunkt Basis Nord angenommen und ihm die ellipsoidische Höhe 416,41 m zugewiesen, nämlich nivellierte Höhe (415,66 m) + Geoiderhebung N über dem Referenzellipsoid (+ 0,75 m). Als Wert für diese Geoiderhebung N wurde der beim

¹⁾ Nur die mittlere Visurhöhe über Grund auf der wichtigeren, stationsnäheren Visurhälfte wird berücksichtigt.

Geoidprofil im Parallelkreis von Zürich für den benachbarten Punkt Diepoldsau gefundene Betrag von + 0,75 m übernommen, wobei für Schwerzenbach $N = 0$ eingeführt ist (siehe Engi und Hunziker, 1944, S. 42). Im Zeitpunkt der Berechnungen des Höhennetzes lagen noch keine der neueren Bestimmungen des Geoids in der Schweiz vor (Elmiger 1975b, 1976; Gurtner 1978).

Die Diskussion der Resultate der verschiedenen Ausgleichungen ergab folgendes:

1. Die Einführung von individuellen, aus einem Atmosphärenmodell abgeleiteten Refraktionswinkeln anstelle der mit einem generellen Refraktionskoeffizient $k = \text{konstant}$ berechneten brachte bei den Ausgleichungen für ellipsoidische Höhen bei allen Gewichtsannahmen eine Verkleinerung des mittleren Fehlers der Gewichtseinheit (Höhenwinkel) und des durchschnittlichen mittleren Fehlers an den Höhen um etwa 30 %. Zudem ist zu vermuten, daß die systematischen Fehler bei Verwendung der individuellen Refraktionswinkel besser eliminiert sind als mit $k = \text{konstant}$.

Bei den Ausgleichungen für geoidische Höhen (mit oder ohne Berücksichtigung der Lotkrümmungen) zeigte sich dagegen bei Einführung individueller Refraktionswinkel keine wesentliche Verringerung der mittleren Fehler. Dies dürfte erstens damit zusammenhängen, daß bei der hier vorgenommenen Mittelbildung der Höhendifferenzen aus Hin- und Rückmessung der Einfluß der Refraktion zum Teil kompensiert wird. Zweitens werden die Beobachtungsfehler wahrscheinlich von den vom "Modell" herrührenden Fehlern überwogen, die bei der Ausgleichung geoidischer Höhen auftreten.

2. Die Frage der "richtigen" Gewichte ließ sich mit dem vorhandenen Beobachtungsmaterial nicht eindeutig klären. Weil - mit Ausnahme weniger Visuren - die Beobachtungszahlen n groß genug waren, um mit $p = \text{konst} \cdot n / m_e^2$ "vernünftige" Gewichte zu erhalten, wurde dieser Gewichtsansatz dem zu wenig differenzierten $p = \text{konst} \cdot n$ und dem komplizierteren, aber die eigentlichen Meßbedingungen ebenfalls nicht berücksichtigenden dritten Ansatz vorgezogen. Alle im Folgenden aufgeführten Resultate sind denn auch mit dem Gewichtsansatz $p = 4,4 \cdot n / (m_e^{cc})^2$ erhalten worden.

Bei den Ausgleichungen für geoidische Höhen wurde schließlich auch der Einfluß der Lotkrümmungen untersucht. Da die Lotkrümmungen im Höhennetz im allgemeinen klein sind (siehe Tabelle 25), weil es sich bei den meisten Stationen um Tal- oder Gipfelpunkte mit einigermaßen symmetrischer Massenverteilung handelt, brachte ihre Einführung bei allen Gewichtsannahmen praktisch keine Reduktion des mittleren Fehlers der Gewichtseinheit und des durchschnittlichen mittleren Fehlers an den Höhen (Wunderlin, 1971). Dagegen hatte ihre Einführung systematische Änderungen an den ausgeglichenen Höhen zur Folge, die für den Punkt Hoher Freschen den maximalen Betrag von + 11 cm erreichten (Wunderlin, 1970a, Tabelle 5). Ihre Berücksichtigung war deshalb trotz der relativ geringen Höhenänderungen gerechtfertigt.

3.4 Die endgültigen Resultate

Als endgültige Ergebnisse sind in den Tabellen 28 und 29 die geoidischen und ellipsoidischen Höhen angegeben, die mit dem Gewichtsansatz konst/m_M^2 berechnet und für welche die individuell wegen Refraktion korrigierten Höhenwinkel verwendet worden sind.

Wie ein Blick auf die Tabelle 28 zeigt, passen die geoidischen Höhen recht gut zu den auf ähnliche Weise aus Höhendifferenzen (Mittel aus "Hin" und "Rück") berechneten konventionellen Höhen oder Gebrauchshöhen der Landesvermessung. Dazu ist zu bemerken, daß die konventionellen Höhen in Bezug auf systematische Verfälschungen vielleicht eher "besser" sind als die hier berechneten geoidischen Höhen, weil sie durch weiträumige, überall mit nivellierten Höhen durchsetzte Netze verknüpft sind, wo sich Modellfehler eher ausgleichen als in sozusagen "freien" Netzen wie dem unsrigen. Die größte Differenz zwischen den konventionellen Höhen und den im Höhennetz Heerbrugg erhaltenen geoidischen Höhen tritt denn auch bezeichnenderweise beim Punkt Säntis auf, welcher im Höhennetz Heerbrugg verhältnismäßig schwach bestimmt ist (siehe Abb. 2).

Die ellipsoidischen Höhen der Tabellen 28 und 29 unterscheiden sich von den in früheren Veröffentlichungen (Wunderlin, 1970b, 1971) publizierten dadurch, daß die dort in einem "lokalen" System gegebenen Geoiderhebungen N umgerechnet worden sind, einerseits auf das "klassische", auch in (Gurtner, 1978) verwendete Schweizer Datum und andererseits auf das Europäische Datum ED 50. Für diese Transformation nach der Formel

$$\begin{aligned} \delta N = & (\sin B_0 \cos B \cos\{L-L_0\} - \cos B_0 \sin B) a \delta \xi \\ & - \cos B \sin\{L-L_0\} a \delta \eta_0 \\ & - \delta a + (\sin^2 B - 2 \sin B_0 \sin B) a \delta f \\ & + (\cos B_0 \cos B \cos\{L-L_0\} + \sin B_0 \sin B) (\delta N_0 + \delta a + \sin^2 B_0 a \delta f) \end{aligned}$$

aus (Heiskanen und Moritz, 1967) wurden die in der Tabelle 27 zusammengestellten Parameter δ verwendet.

	Schweizer Datum ¹⁾	+ δ +	Lokales System	+ δ +	ED 50 ¹⁾	
a	6377397,155 m	0	6377397,155 m	+990,845 m	6378388,000 m	a
f	1/299,15281	0	1/299,15281	+2,423 \cdot 10 ⁻⁵	1/297	f
ξ_0	0	-0,77"	0,77" ²⁾	+0,73"	1,50"	ξ_0
η_0	0	0	0	-0,37"	-0,37"	η_0
N_0	-0,50 m	-0,315 m	-0,185 m ³⁾	-2,725 m	-2,91 m	N_0

Tabelle 27: Parameter δ für die Transformation von N ins Schweizer Datum und ins ED 50

1) siehe (Gurtner, 1978), S. 97/98

2) gegeben: B_0 (klass. Wert - lok. System) = 46°57'08,66" - 46°57'07,89"

3) gewählt: mit diesem Wert wird durchschnittlich $N_{\text{Heerbrugg}} = N_{\text{Gurtner}}$

Tabelle 28

Ausgeglichene geoidische und ellipsoidische Höhen im Schweizer Datum

Punkt	Gebrauchshöhen	geoid. Höhen h 1965	lokales System N 1965	δN	N 1965	N Gurtner	ellips. Höhen H = h + N (gerundet)
	m	m	m	m	m	m	m
Säntis, Pfeiler	2503,07	2503,329	+ 1,077	- 0,184	+ 0,893	(+ 0,89)	2504,22
Pfänder, Pfeiler	1063,50 1)	1063,519	+ 1,189	- 0,074	+ 1,115	(+ 1,08)	1064,63
Hoher Freschen, Stein	2003,68	2003,661	+ 1,726	- 0,157	+ 1,569	(+ 1,64)	2005,23
Hohe Kugel, Stein	1645,23 1)	1645,255	+ 1,258	- 0,146	+ 1,112	(+ 1,17)	1646,37
St. Anton, Lochbolzen	1121,19	1121,242	+ 0,654	- 0,116	+ 0,538	(+ 0,56)	1121,78
Basis Süd, Pfeiler	477,53	477,530	+ 0,793	- 0,147	+ 0,646	(+ 0,54)	478,18
Basis Nord, Pfeiler	415,66	415,660	+ 0,750	- 0,124	+ 0,626	(+ 0,60)	416,29
Meldegg ETH, Pfahl	-	657,006	+ 0,679	- 0,103	+ 0,576	(+ 0,55)	657,58
Fussach ETH, Pfahl	-	403,288	+ 0,751	- 0,089	+ 0,662		403,95
Schwende ETH, Pfahl	-	1055,178	+ 1,291	- 0,112	+ 1,179		1056,36
Staufenspitz, Stein	-	1465,083	+ 1,289	- 0,129	+ 1,160		1466,24
Sommersberg, Stein	1177,02	1177,000	+ 0,710	- 0,134	+ 0,576		1177,58
Fäneren ETH, Pfahl	-	1479,602	+ 0,768	- 0,156	+ 0,612		1480,21
Ebenalp, Stein	1640,02	1640,016	+ 1,012	- 0,170	+ 0,842	(+ 0,78)	1640,86

1) österreichische Werte

Tabelle 29

Ausgeglichene geoidische und ellipsoidische Höhen im Europäischen Datum ED 50

Punkt	geoid. Höhen h 1965	lokales System N 1965	δN	N 1965	N Gurtner	ellips. Höhen H = h + N (gerundet)
	m	m	m	m	m	m
Säntis, Pfeiler	2503,329	+ 1,077	- 2,877	- 1,800	(- 1,80)	2501,53
Pfänder, Pfeiler	1063,519	+ 1,189	- 3,094	- 1,905	(- 1,94)	1061,61
Hoher Freschen, Stein	2003,661	+ 1,726	- 2,989	- 1,263	(- 1,19)	2002,40
Hohe Kugel, Stein	1645,255	+ 1,258	- 2,989	- 1,731	(- 1,67)	1643,52
St. Anton, Lochbolzen	1121,244	+ 0,654	- 2,990	- 2,336	(- 2,31)	1118,91
Basis Süd, Pfeiler	477,530	+ 0,793	- 2,964	- 2,171	(- 2,28)	475,36
Basis Nord, Pfeiler	415,660	+ 0,750	- 3,003	- 2,253	(- 2,28)	413,41
Meldegg ETH, Pfahl	657,006	+ 0,679	- 3,024	- 2,345	(- 2,37)	654,66
Fussach ETH, Pfahl	403,288	+ 0,751	- 3,051	- 2,300		400,99
Schwende ETH, Pfahl	1055,178	+ 1,291	- 3,044	- 1,753		1053,42
Staufenspitz, Stein	1465,083	+ 1,289	- 3,018	- 1,729		1463,35
Sommersberg, Stein	1177,000	+ 0,710	- 2,961	- 2,251		1174,75
Fäneren ETH, Pfahl	1479,602	+ 0,768	- 2,932	- 2,164		1477,44
Ebenalp, Stein	1640,016	+ 1,012	- 2,904	- 1,892	(- 1,95)	1638,12

Die in der Tabelle 29 abgeleiteten ellipsoidischen Höhen im ED 50 weichen um einige wenige Zentimeter von den Werten ab, die seinerzeit für die Reduktion der elektronisch gemessenen Distanzen im Basisvergrößerungsnetz bestimmt worden waren (siehe Teil IV). Die Unterschiede rühren daher, daß die Transformation der Geoiderhebungen N ins ED 50 damals auf einer empirisch hergeleiteten Näherungsformel basierte.

4. LITERATURVERZEICHNIS

- Bauersima, I.,
Schürer, M.,
1976: Rationelle Behandlung der dreidimensionalen Geodäsie. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 74. Jahrgang, 1976, S. 185-188.
- Chablais, H.,
1966: Mesures d'angles verticaux dans le réseau d'amplification de la base d'Heerbrugg en 1965. Rapport à la Commission géodésique suisse, avril 1966, 5 pages.
- Chablais, H.,
1967: Les mesures d'angles verticaux dans le réseau d'amplification d'Heerbrugg en 1965. Procès-verbal de la 112^e séance de la Commission géodésique suisse, Neuchâtel 1967, p. 17-18.
- Elmiger, A.,
1966: Berechnung von Lotabweichungen und Schwerereduktionen aus sichtbaren Massen. Bericht an die Schweiz.Geodätische Kommission, Mai 1966, 29 Seiten, vervielfältigt.
- Elmiger, A.,
1967a: Berechnung von Lotabweichungen und Schwerereduktionen aus sichtbaren Massen. Protokoll der 112. Sitzung der Schweiz.Geodätischen Kommission, Neuchâtel 1967, S. 38-48.
- Elmiger, A.,
1967b: Zusammenstellung von Lotabweichungen in der Schweiz. Zusammenfassung, vervielfältigt, mit 1 Übersichtskarte 1:1 000 000.
- Elmiger, A.,
1968: Zusammenstellung von Lotabweichungen in der Schweiz. Protokoll der 113. Sitzung der Schweiz.Geodätischen Kommission, Neuchâtel 1968, S. 15-20 und 1 Karte.
- Elmiger, A.,
1969: Studien über Berechnung von Lotabweichungen aus Massen, Interpolation von Lotabweichungen und Geoidbestimmungen in der Schweiz. Dissertation ETH Zürich, Bamberg 1969.
- Elmiger, A.,
1971: Astronomisch-geodätische Lotabweichungen in der Schweiz, Zusammenstellung 1867-1970. Bericht an die Schweiz.Geodätische Kommission, Juni 1971, 22 Seiten, vervielfältigt, mit 1 Karte.
- Elmiger, A.,
1972: Astronomisch-geodätische Lotabweichungen in der Schweiz, Zusammenstellung 1867-1970. Protokoll der 117. Sitzung der Schweiz.Geodätischen Kommission, Kloten 1972, S. 87-90.
- Elmiger, A.,
1975a: Algol-Programm LASRM: Berechnung von Lotabweichungen und Schwerereduktionen aus Massen. Benutzeranleitung. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Januar 1975.
- Elmiger, A.,
1975b: Erste Ergebnisse einer Geoidbestimmung für die Schweiz aus astronomischen und interpolierten Lotabweichungen. Bericht an die Schweiz.Geodätische Kommission, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Juni 1975.
- Elmiger, A.,
1976: Erste Ergebnisse einer Geoidbestimmung für die Schweiz aus astronomischen und interpolierten Lotabweichungen. Protokoll der 121. Sitzung der Schweiz.Geodätischen Kommission, Kloten 1976, S. 38-65.
- Engi, P.,
1936: Bestimmung von Längenunterschieden erster Ordnung mit drahtloser Uhrvergleichung in den Jahren 1924-1930. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, 21. Band, Bern 1936.
- Engi, P.,
Hunziker, E.,
1944: Das Geoidprofil im Parallelkreis der Eidgenössischen Sternwarte zu Zürich. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, 22. Band, Wabern/Bern 1944.
- Erker, E.,
Litschauer, J.,
Losert W.,
1979: Die astronomisch-geodätischen Arbeiten Österreichs für ED 70. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien 1979.
- Fischer, W.,
1961a: Astronomische Lotabweichungsbestimmungen im Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg. Bericht an die Schweiz.Geodätische Kommission, April 1961.

- Fischer, W., 1961 b: Die im Jahre 1960 ausgeführten astronomischen Beobachtungen. Protokoll der 107. Sitzung der Schweiz.Geodätischen Kommission, Neuchâtel 1961, S. 5-6.
- Fischer, W., 1962: Berechnung der Lotabweichungsdifferenz zwischen dem Oberflächenpunkt und dem Geoidpunkt einer Lotlinie aus sichtbaren Massen. Bericht an die Schweiz.Geodätische Kommission, März 1962, und Protokoll der 108. Sitzung der Schweiz.Geodätischen Kommission, Neuchâtel 1962, S. 63-71.
- Fischer W., 1965: Vorschläge zur Bestimmung der Lotabweichungen auf den Punkten des Basisvergrößerungsnetzes Heerbrugg. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, LXIII. Jahrgang, Juli 1965, S. 197-204.
- Gassmann, F., Müller, P., 1961: Gravimetrische Bestimmung der Gesteinsdichte und der Lotkrümmungen für den Punkt St. Anton des Basis-Vergrößerungsnetzes Heerbrugg. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, LIX. Jahrgang, September 1961, S. 311-330.
- Gurtner, W., 1978: Das Geoid in der Schweiz. Astronomisch-geodätische Arbeiten i.d. Schweiz, 22.Bd., Bern 1978, und Institut f.Geodäsie u.Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Mitteilungen Nr.20, Februar 1978.
- Gurtner, W., Elmiger, A., 1983: Berechnungen von Lotabweichungen und Geoidhöhen aus Massen in der Schweiz. Interpolation mit Prädiktion (Programmbeschreibung). In Vorbereitung.
- Heiskanen, W., Moritz, H., 1967: Physical Geodesy. W.H. Freeman und Company, San Francisco and London 1967.
- Hirle, M., 1965: Diskussion der neuen Basisvergrößerungsnetze München, Meppen, Göttingen und Heerbrugg, Genauigkeit und Fehlerübertragung. Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 83, München 1965.
- Hunziker, E., 1929: Telegraphische Bestimmung der Längenunterschiede zwischen schweizerischen Stationen 1919-1923. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, 18.Band, Bern 1929.
- Hunziker, E., 1961: Gravimetermessungen auf St. Anton und Umgebung im Sommer 1960. Protokoll der 107. Sitzung der Schweiz.Geodätischen Kommission, Neuchâtel 1961, S. 7-12.
- Jordan/
Eggert/
Kneissl,
1956: Handbuch der Vermessungskunde, Höhenmessung, Tachymetrie. 10. Ausgabe, Band III, Stuttgart 1956.
- Jordan/
Eggert/
Kneissl,
1970: Handbuch der Vermessungskunde, Geodätische Astronomie. 10. Ausgabe, Band IIa, Stuttgart 1970.
- Keppke, U., 1968: Kritische Betrachtungen zur Genauigkeit von Höhenwinkelmessungen in Landesnetzen 1.0. unter besonderer Berücksichtigung der terrestrischen Refraktion. DGK, Reihe C, Heft Nr. 115, München 1968.
- Kukkamäki, T.J., 1938: Über die nivellitische Refraktion. Veröffentlichungen des Finnischen Geodätischen Institutes, Nr.25, Helsinki 1938.
- Levallois, J.J., Masson d'Autome, G., 1953: Etude sur la réfraction géodésique et le nivellement barométrique. Institut Géographique National, Paris 1953, avec Annexe.
- Lichte, H., Mälzer, H., 1964: Niederschrift über die Bodensee-Konferenz vom 17./18. April 1964 in Karlsruhe. 9 Seiten, vervielfältigt.

- Litschauer, J., 1973: Die Zweite Ausgleichung des Österreichischen Dreiecksnetzes 1. Ordnung. Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien 1973.
- Meier, W., 1966: Breiten- und Längenbestimmungen im Basisnetz Heerbrugg. Bericht an die Schweiz. Geodätische Kommission, April 1966.
- Meier, W., 1967: Astronomische Beobachtungen im erweiterten Basisnetz Heerbrugg. Protokoll der 112. Sitzung der Schweiz. Geodätischen Kommission, Neuchâtel 1967, S. 30-34.
- Mitter, J., 1960: Die Basismessung von Heerbrugg 1959. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen, 48. Jahrgang, 1960, S. 7-17, 45-50, 91-98.
- Mitter, J., 1970: Die Bodenseekonferenz in Grindelwald im Berner Oberland vom 12. bis 14. September 1969. Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen, 58. Jahrgang, Nr.1, Februar 1970, S. 18-22.
- Mitter, J., Hauer, F., 1974: Die Bodenseekonferenz in Eisenstadt (Burgenland) vom 11. bis 13. Oktober 1974. 8 Seiten, vervielfältigt.
- Müller, H., 1972: Bestimmungen von astronomischen Längen, Azimuten und Breiten in den Jahren 1965 bis 1970. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, 29. Band, Zürich 1972.
- Müller, P., 1966: Anleitung zur Durchführung von Lotanziehungsberechnungen und Terrainkorrekturen mit Hilfe von Fortran-Computerprogrammen. Interne Benutzeranleitung. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Januar 1966.
- Odermatt, H., 1960: Tafeln zum Projektionssystem der schweizerischen Landesvermessung. Mitteilungen aus dem Geodätischen Institut an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich, Nr. 8, Verlag Leemann Zürich, 1960.
- Ramsayer, K., 1965: Raumtriangulation in einem lokalen kartesischen Koordinatensystem (Vorschlag für die räumliche Berechnung des Basisvergrößerungsnetzes Heerbrugg). ZfV, 90, 1965, S. 15-22.
- Ramsayer, K., 1971: Strenge und genäherte Ausgleichung von Basisnetzen in einem lokalen kartesischen Koordinatensystem und Erprobung in den Raumnetzen Heerbrugg und Stuttgart. DGK, Reihe A, Heft Nr.71, München 1971.
- Reinhart, E., 1968: Lotabweichungen aus sichtbaren Massen - berechnet mit Hilfe einer Rechenanlage für das Basisvergrößerungsnetz Heerbrugg. DGK, Reihe C, Heft Nr. 114, München 1968.
- Schnädelbach, K., 1972: Berechnung der geodätischen Linien durch konforme Abbildung des Ellipsoids auf die Kugel. DGK, Reihe C, Heft Nr. 185, München 1972.
- Schneider, D., 1978: Raumnetz Thuis. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 76. Jahrgang, 1978, S. 93-100.
- Schneider, D., Wunderlin, N., 1981: RAUMTRI, Dreidimensionale Netzausgleichung in einem geozentrischen kartesischen Koordinatensystem. Programmbeschreibung/Bedieneranleitung. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Institut f. Geodäsie und Photogrammetrie, Bericht Nr. 45, Februar 1981.
- Wunderlin, N., 1966: Lotabweichungs- und Geoidbestimmungen aus Höhenwinkeln in den Schweizer Alpen. Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Photogrammetrie und Kulturtechnik, LXIV. Jahrgang, Dezember 1966, S. 425-445.
- Wunderlin, N., 1967: Lotabweichungen, Geoid und Meereshöhen in den Schweizer Alpen. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, 26. Band, Zürich 1967.
- Wunderlin, N., 1968: Refraktionsuntersuchungen und ein ALGOL-Programm zur Berechnung von Refraktionswinkeln. Bericht an die Schweiz. Geod. Komm. April 1968.

- Wunderlin, N.,
1969a: Refraktionsuntersuchungen und ein ALGOL-Programm zur Berechnung von Refraktionswinkeln. Protokoll der 114. Sitzung der Schweiz. Geodätischen Kommission, Neuchâtel 1969, S. 20-24.
- Wunderlin, N.,
1969b: Längen-, Azimut- und Breitenbestimmungen 1961-1964. Astronomisch-geodätische Arbeiten in der Schweiz, 28. Band, Zürich 1969.
- Wunderlin, N.,
1970a: Berechnungen im Höhennetz Heerbrugg. Bericht an die Schweiz. Geodätische Kommission, April 1970.
- Wunderlin, N.,
1970b: Verwendung rechnerisch bestimmter Refraktionswinkel in einem Höhenwinkelnetz. ZfV, 95. Jahrgang, November 1970, S. 480-488.
- Wunderlin, N.,
1971: Berechnungen im Höhennetz Heerbrugg. Protokoll der 116. Sitzung der Schweiz. Geodätischen Kommission, Kloten 1971, S. 47-64.
- Wunderlin, N.,
1979: ALGOL-Programm TGREFR, Modellatmosphäre und Refraktion. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Mitteilungen Nr. 26, Dezember 1979.



